

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Sledování opotřebení inteligentních řezných nástrojů

Monitoring Wears of Intelligent Cutting Tools

Student:

Adam Pomykacz

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání bakalářské práce

Student: **Adam Pomykacz**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Sledování opotřebení inteligentních řezných nástrojů**
Monitoring Wears of Intelligent Cutting Tools

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Teoretický rozbor problematiky.
3. Zpracování naměřených hodnot.
4. Vyhodnocení experimentu.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] KOCMAN, K.; PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, s. r. o., 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
- [2] VASILKO, K.; NOVÁK-MARCINČIN, J.; HAVRILA, M. *Výrobné inženýrstvo*. Prešov : Datapress Prešov. 2003, 424 s. ISBN 80-7099-995-0.
- [3] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. s. 343. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [4] HUMÁR, A. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění*. Brno : CCB, s.r.o. Brno, 1995. 265 s. ISBN 80-85825-10-4.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013


Ing. et Ing. Mgr. Jana Petru, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité prameny a literaturu.

V Ostravě10.5.2013.....

..........

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, же Высoкá škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, же odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), že ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výdělek její obhajoby.

V Ostravě : 10.5.2013

.....
Pomykacz
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Adam Pomykacz

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Třinec – Kinská 273

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

POMYKACZ, A. *Sledování opotřebení inteligentních řezných nástrojů*. Ostrava, 2013. Bakalářská práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže. Vedoucí práce Kratochvíl, J.

Cílem této bakalářské práce je sledování opotřebení inteligentních řezných nástrojů. Břit nástroje je vyroben z řezné keramiky na bázi nitridu křemíku s nanesenou odporovou vrstvou. První část práce se zabývá teoretickým rozбором problematiky, tedy podrobným rozбором jednotlivých druhů opotřebení, řezné keramiky a jednotlivými částmi soustavy SNOP. Druhá část zpracovává a vyhodnocuje data získané během experimentálního měření, včetně jednotlivých tabulek a grafů. V závěru jsou shrnuty výsledky a poznatky získané během experimentu.

ANNOTATION OF THESIS

POMYKACZ, A. *Monitoring Wears of Intelligent Cutting Tools*. Ostrava, 2013. Bachelor Thesis. VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Working and Assembly. Thesis head: Kratochvíl, J.

The aim of this work is the monitoring wear of intelligent cutting tools. The cutting edge is made of cutting ceramics based on silicon nitride coated with a resistive layer. The first part deals with the theoretical analysis of the issue, in that case a detailed analysis of different types of wear, cutting ceramics and particular parts of the SNOP system. The second part process and evaluates data obtained during the experimental measurement, including individual tables and graphs. The conclusion summarizes the results and information obtained during the experiment.

Obsah

1. Úvod.....	7
2. Teoretický rozbor problematiky.....	8
2.1. Opotřebení břitu nástroje.....	8
2.1.1. Princip opotřebení.....	8
2.1.2. Mechanismus opotřebení.....	8
2.1.3. Formy opotřebení.....	10
2.1.4. Hlavní faktory ovlivňující opotřebení nástroje.....	13
2.1.5. Kritéria opotřebení.....	14
2.1.6. Časový průběh opotřebení.....	15
2.2. Řezná keramika.....	16
2.2.1. Rozdělení řezné keramiky.....	17
2.2.2. Výroba řezné keramiky.....	17
2.2.3. Vlastnosti.....	18
2.3. Teoretický rozbor experimentu.....	19
2.3.1. Použitý stroj.....	19
2.3.2. Použitý nástroj.....	20
2.3.3. Materiál použitý při experimentu.....	22
2.3.4. Upnutí materiálu při experimentu.....	22
2.3.5. Dílenský mikroskop s osvětlením.....	23
2.3.6. Postup experimentu.....	24
3. Zpracování a vyhodnocení experimentu.....	25
3.1. Břit č. 1.....	25
3.2. Břit č. 2.....	27
3.3. Břit č. 3.....	29
3.4. Břit č. 4.....	31
3.5. Břit č. 5.....	33
3.6. Břit č. 6.....	35
3.7. Grafické porovnání velikosti opotřebení $VB_{B\ max}$ všech břitů.....	37
3.8. Grafické porovnání velikosti opotřebení KB všech břitů.....	38
3.9. Závislosti $T - v_c$	39
4. Závěr.....	41
5. Seznam použité literatury.....	42

Seznam použitých symbolů a zkratek

Označení	Popis	Jednotka
A	Tažnost	[%]
CA	Oxidická keramika na bázi AL ₂ O ₃	[-]
CC	Povlakovaná keramika	[-]
CM	Směsná keramika na bázi AL ₂ O ₃ s přísadou neoxidových komponentů	[-]
CN	Neoxidická keramika na bázi nitridu křemíku Si ₃ N ₄	[-]
D	Průměr polotovaru	[mm]
KB	Šířka žlábků	[mm]
KF	Vzdálenost žlábků od čela	[mm]
KM	Střední vzdálenost žlábků	[mm]
KT	Hloubka žlábků	[mm]
L	Délka obrobení	[mm]
R _m	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
VB	Opotřebení na hřbetě	[mm]
VB _B	Opotřebení přímé části ostří (průměrné)	[mm]
VB _C	Opotřebení v oblasti špičky nástroje	[mm]
VB _N	Opotřebení ve formě vrubu	[mm]
VB _{B max}	Opotřebení maximální	[mm]
VBD	Vyměnitelná břitová destička	[-]
a _p	Hloubka řezu	[mm]
f	Posuv	[mm]
t	Čas nástroje v řezu	[min]
v _c	Řezná rychlost	[m/min]
v _f	Posuvová rychlost	[mm/min]

1. Úvod

Neustálý vývoj nových materiálů, které disponují pořád lepšími mechanickými vlastnostmi, klade stále větší nátlak na odolnost a trvanlivost obráběcích nástrojů a řezných materiálů. V praxi jsou ovšem již často zaběhnuty technologie, které bez větších chyb slouží již řadu let a zavádění nových technologií by bylo pro řadu firem časově a finančně velmi náročné, právě proto se řada společností o nové technologie příliš nezajímá.

Jednou z inovativních metod obrábění, která není moc náročná a má řadu výhod, je použití inteligentních řezných nástrojů, které jsou schopny během samotného obrábění sledovat stav břitu nástroje a tedy snáze určit opotřebení a čas jeho výměny. Vyměnitelná břitová destička je vyrobena z keramiky na bázi nitridu křemíku a vyznačuje se tím, že má na sobě nanesenou odporovou vrstvu, která umožňuje sledovat opotřebení nástroje. Tato technologie pocházející z Japonska, je právě předmětem této bakalářské práce.

Experimentální měření, které probíhalo v prostorách VŠB – TU Ostrava sledovalo během soustružení ocelové tyče opotřebení břitové destičky nástroje, velikost teploty a odporu v místě řezu a rovněž bylo prováděno měření vibrací stroje během soustružení. Předmětem této bakalářské práce je sledování opotřebení inteligentních řezných nástrojů, měření teploty, odporu a vibrací zpracovávali studenti Martin Bilík, Václav Král a Vojtěch Schreier jako svou samostatnou bakalářskou práci.

Teoretická část byla sepsána pomocí podkladů z literatury a informací které jsem nabyt v dosavadním studiu. Praktická část je však vypracována na základě experimentálního měření a dat, které z něj vzešly.

2. Teoretický rozbor problematiky

Tato kapitola rozebere problematiku opotřebení nástroje, řezné keramiky a podrobně rozebere celý experiment včetně soustavy SNOP.

2.1. Opotřebení břitů nástroje

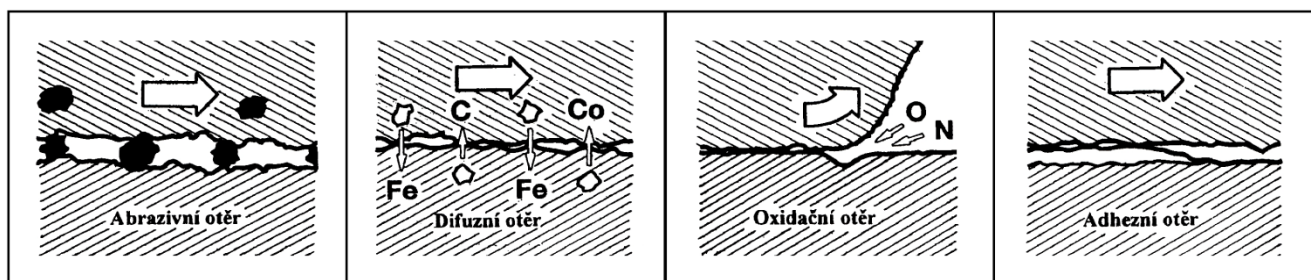
2.1.1. Princip opotřebení

Při obrábění vzniká velké množství tepla, které se vyvíjí na ploše čela a hřbetu nástroje. Tepelná zatížení značně namáhají materiál břitů nástroje a v některých případech, jako například při frézování, mohou vytvářet dynamický faktor v okamžiku, kdy jeden břit z materiálu vystupuje a opět do něj vniká. Procesem utváření třísky se kontinuálně vytváří při vysokém tlaku a teplotách čistý kovový povrch, který má sklony k chemickým reakcím, případně k difuzním procesům.

Většina obráběných materiálů obsahuje tvrdé částice různého druhu, které se svou tvrdostí neliší od materiálu břitů nástroje. Tyto částice vyvolávají u nástroje brouscí, případně abrazivní efekt. Kombinací mechanických, tepelných, chemických a abrazivních faktorů dochází ke složitému zatěžování břitů nástroje, které se projevuje jeho opotřebením. [1]

2.1.2. Mechanismus opotřebení

Na základě analýzy zatěžujících faktorů břitů nástroje je možné identifikovat základní mechanizmy opotřebení – abrazivní, difuzní, oxidační a adhezní otěr (viz Obr. 2.1). [1]



Obr. 2.1 Schéma základních mechanismů opotřebení břitů nástroje [1]

Abrazivní otěr

Je velmi rozšířený mechanismus, který vzniká hlavně působením tvrdých částic v materiálu obrobku. Je to podobně jako při broušení, při němž se tvrdé částice dostávají mezi povrch obrobku a povrch nástroje. Schopnost břitu odolávat abrazivnímu otěru je z větší části závislá na jeho tvrdosti. Řezný materiál, který obsahuje hustou strukturu tvrdých částic, bude abrazivnímu otěru odolávat dobře, avšak nemusí stejně dobře odolávat také jiným mechanismům opotřebení. Abrazivní otěr je významný především při nízkých řezných rychlostech, kdy se oba materiály stýkají na vrcholcích mikronerovností. Brusný otěr je tedy významný především při obrábění nástroji z nástrojových a rychlořezných ocelí. [1]

Difuzní otěr

Vzniká působením chemických vlivů při procesu obrábění. Chemické vlastnosti řezného materiálu a jeho afinita vůči materiálu obrobku jsou rozhodujícími činiteli pro vznik a průběh difuzního opotřebení. Na tomto procesu má tvrdost materiálu jen relativně malý podíl. O podílu difuzního opotřebení na celkovém opotřebení rozhoduje chemické složení řezného nástrojového materiálu a materiálu obrobku. Některé řezné materiály nereagují s materiálem obrobku vůbec, zatímco jiné mají ve vztahu k materiálu obrobku vysoký stupeň afinity. Například afinita mezi slinutým karbidem a ocelí vede ke vzniku difuzního opotřebení. Důsledkem je vytvoření žlábků na čele břitu břitové destičky. Protože toto opotřebení souvisí s teplotou, vytvoří se při vysokých řezných rychlostech největší žlábek. K výměně atomů dochází ve dvou různých směrech. Jeden transfer probíhá z feritu oceli do nástroje a při druhém transferu putují atomy uhlíku, který inklinuje k difuzi do železa, do třísky. [1]

Oxidační otěr

Souvisí s vysokými teplotami řezného procesu, které spolu s okolním vzduchem mají za následek oxidaci nástrojového materiálu. Vzniklé oxidy působí velmi rozdílně. Wolfram a kobalt tvoří porézní film oxidu, který jsou snadno odnášeny třískou. Jiné oxidy, jako např. oxid hlinitý, jsou naproti tomu podstatně pevnější a tvrdší. Některé řezné nástrojové materiály jsou proto náchylnější k oxidačním opotřebením, než jiné. Speciálně v místě

břitu, kde končí šířka třísky, má vzduch přístup do řezného procesu. V tomto případě vznikají působením oxidace typické žlábký, které jsou však v současné výrobě relativně vzácným fenoménem. [1]

Adhezivní otěr

Vyskytuje se hlavně při nízkých teplotách obrábění na čele břitu nástroje. Může vzniknout jak u ocelí tvořících dlouhou třísku, tak u materiálů s krátkou třískou. Adhezivní otěr je způsoben vytrháváním částic břitu v důsledku adhezních spojů mezi nástrojem a obrobkem. Je významný při nižších řezných rychlostech, kdy vzniká bodový styk mezi třískou a nástrojem a kdy je umožněno adhezivní spojení obou materiálů. Adhezivní otěr vzniká zejména při obrábění nástroji z nástrojových a rychlořezných ocelí. Tento jev často vede k vytváření nárůstků mezi třískou a břitem. Jedná se přitom o dynamický průběh s narůstajícím počtem vrstev, které jsou z třísky navařovány a vytvrzovány a stávají se tak součástí břitu. Takto nárůstkem vytvořený břit může tvořit základ pro nové nárůstky na břitu, nebo může poškodit původní břit vydrolováním nebo výlomem. [1]

2.1.3. Formy opotřebení

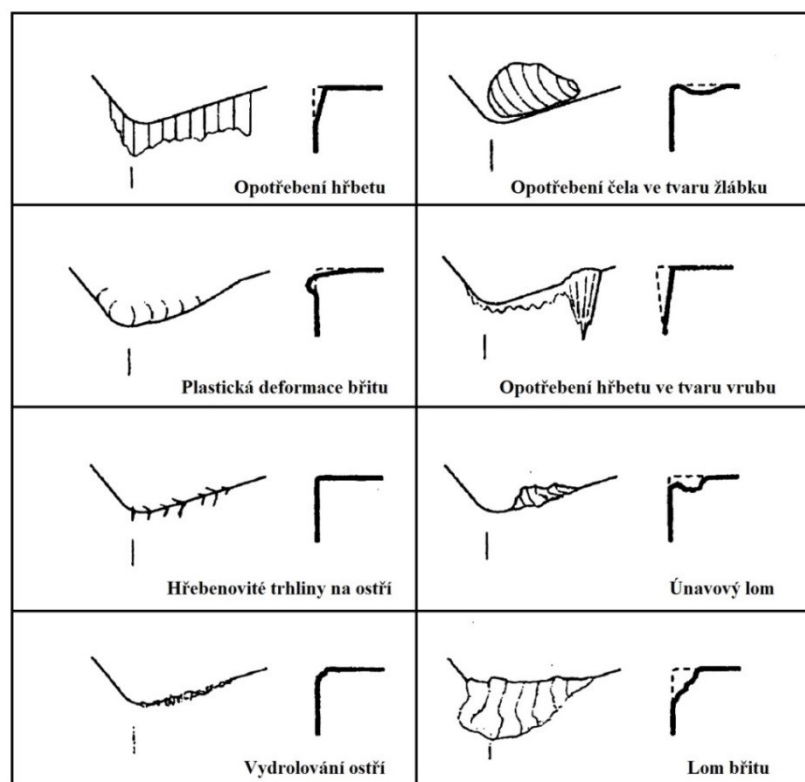
Druh a jeho velikost je závislá na technologických podmínkách řezného procesu.

Opotřebení hřbetu

Způsob opotřebení, který spadá pod abrazivní způsoby opotřebení. Plochy hřbetu u hlavního ostří, u vedlejšího ostří a poloměru špičky, jsou před utvářením třísky, v průběhu a po utváření třísky zvlášť vystaveny působení materiálu obrobku. Opotřebení hřbetu je všeobecně obvyklým typem opotřebení. Příliš velké opotřebení hřbetu má za následek zhoršení jakosti obrobeného povrchu, nepřesnost rozměru a narůstající tření, které vzniká změnou geometrie břitu. [1]

Opotřebení čela ve tvaru žlábků

Je důsledkem působení mechanismů difuzního opotřebení a abraze. Žlábek vzniká částečně úběrem materiálu nástroje vyvolaným brousícím pochodem, který způsobují tvrdé částice obsažené v materiálu obrobku, ale hlavně difuzí v místě břitu s nejvyšší teplotou, tzn. V kontaktním místě mezi třískou a materiálem břitu. Tvrdost za tepla a malá afinita mezi materiály obrobku a břitu nástroje snižují tendenci ke vzniku tohoto typu opotřebení. Velké opotřebení čela ve tvaru žlábků může změnit geometrii břitu a ovlivnit tak tvar třísky, změnit směr působení řezných sil a zeslabit břit. [1]



Obr. 2.2 Formy opotřebení břitu nástroje [1]

Plastická deformace břitu

Vzniká působením kombinace vysokých teplot a řezných tlaků na břitu. Vysoké řezné rychlosti a posuvy, jakož i tvrdé materiály obrobků vyvolávají vznik vysokých teplota tlaků. Plastická deformace břitu ještě více zvyšuje teploty a má za následek změnu geometrie břitu a změny v odchodu třísek. Plastická deformace břitu se vyskytuje při obrábění všemi nástrojovými materiály po dosažení určité teploty v některém místě stykových ploch mezi nástrojem a obrobkem. Při dosažení této teploty (limitní teplota) dochází k prudkému poklesu tvrdosti řezného materiálu v důsledku strukturních změn.

Plastickou deformaci břitu lze zmenšit použitím správného zaoblení ostří a volbou vhodné geometrie břitu. [1]

Opotřebení hřbetu ve tvaru vrubu

Patří k typickým adhezním opotřebením, může však stejně dobře souviset s jevem oxidačního opotřebení. Vruby vznikají v místě kontaktu břitu s bokem třísky. Toto opotřebení se omezuje přesně na to místo, kudy proniká vzduch do oblasti obrábění. Velké opotřebení hřbetu ve tvaru vrubu ovlivňuje utváření třísky a může vést k lomu destičky. [1]

Hřebenovité trhliny na ostří

Jsou formou únavového opotřebení, které vzniká tepelnými šoky. Zvláště změna teplot při frézování často vede k tomuto druhu opotřebení. Trhliny se tvoří kolmo na ostří, přitom se mohou částice rezného nástrojového materiálu mezi jednotlivými trhlínami vylamovat a vyvolat tak náhlý lom břitu. [1]

Únavový lom

Je typickým následkem mimořádně velkých změn velikosti řezných sil. Tento druh lomu vzniká vlivem součtu neustále se měnících různých zatížení, kdy působení jednotlivých zatížení není dostatečně intenzivní, aby mělo za následek lom. [9]

Vydrolování ostří

Je formou opotřebení, při níž se břit vydroluje. Toto opotřebení je způsobeno špičkami zatížení a vede k tomu, že drobné částčky rezného materiálu se začnou oddělovat z povrchu břitu. Přerušované řezy jsou nejčastější příčinou tohoto typu opotřebení. [1]

Lom břitu

Představuje náhlou poruchu a okamžitý konec jeho technického života. Totální lom je často velmi nebezpečný a mělo by se mu za všech okolností zabránit. Křehký lom může

být způsoben různými faktory, často je zvolený materiál břitu málo houževnatý, aby mohl zvládnout všechny požadavky na obrábění. [1]

2.1.4. Hlavní faktory ovlivňující opotřebení nástroje

Faktorů, které ovlivňují opotřebení břitu je velmi mnoho, nejvýznamnější jsou však tyto tři:

Řezná rychlost (v_c):

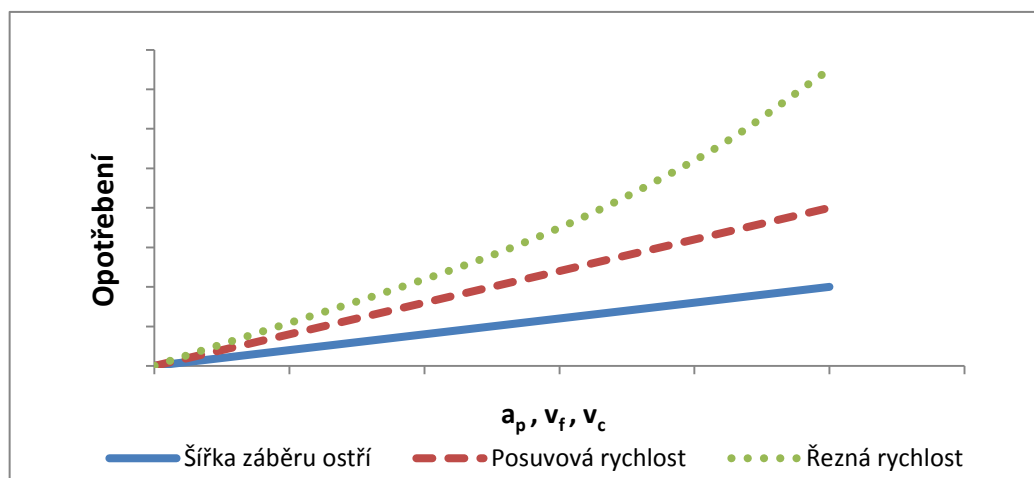
S rostoucí řeznou rychlostí rovněž stoupá rychlost opotřebení nástroje. Tento faktor nejvíce ovlivňuje opotřebení břitu nástroje. [5]

Posuvová rychlosti (v_f):

Oproti řezné rychlosti má posuvová rychlost o něco menší vliv na opotřebení nástroje. Tento faktor se projevuje především na hřbetě nástroje, který se při obrábění zatlačuje do obrobku. [5]

Šířka záběru ostří (a_p):

Jelikož se šířka záběru ostří zvětšuje pouze se zvětšením hloubky řezu (tím dojde pouze ke zvětšení plochy třísky), má tento faktor nejmenší vliv na opotřebení. [5]



Obr. 2.3 Vliv řezných podmínek na opotřebení [5]

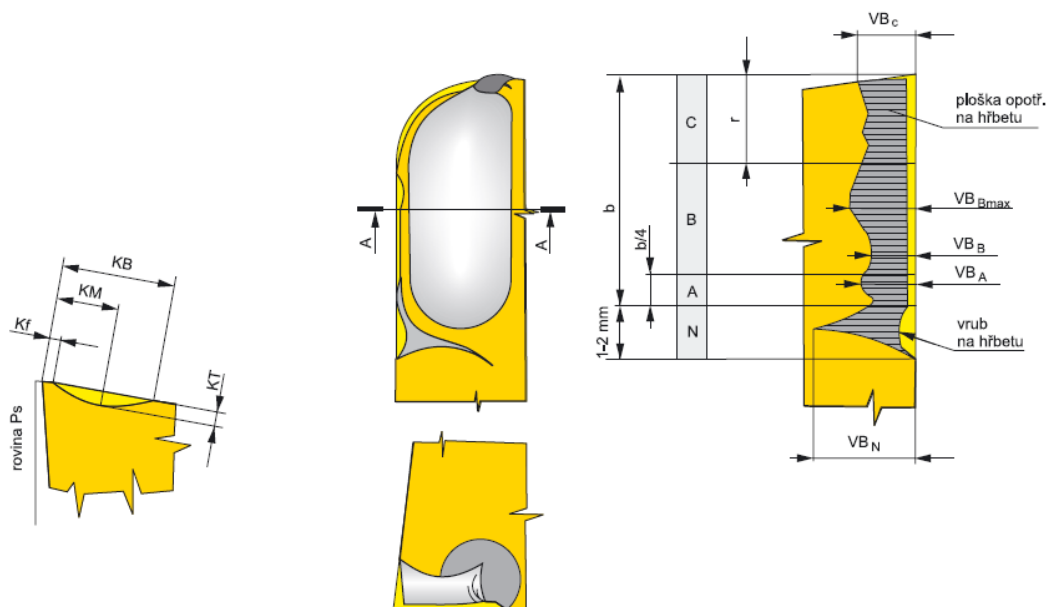
Další faktory ovlivňující opotřebení nástroje:

- Vlastnosti obráběného materiálu
- Vlastnosti materiálu nástroje
- Teplota řezání
- Řezná geometrie
- Použití chladicích kapalin

2.1.5. Kritéria opotřebení

- Dle normy **ISO 3685**

Nejvýznamnějším a nejpoužívanějším kritériem je opotřebení na hřbetě, jelikož má vliv na povrch součásti obrobku. Hloubka žlábků výrazným způsobem snižuje pevnost nástroje a opotřebení špičky má významný vliv na rozměry součásti. [7]



Obr. 2.4 Kritéria opotřebení řezného nástroje dle ISO 3685 [7]

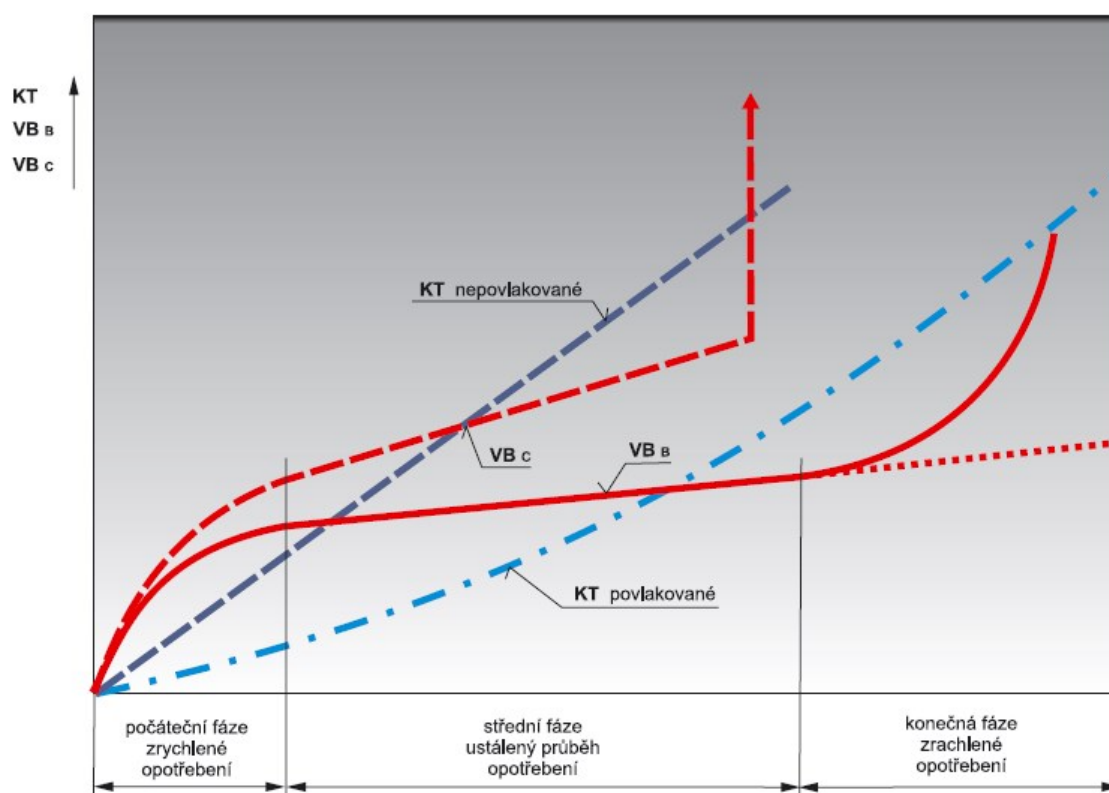
Tab. 2.1 Kritéria opotřebení řezného nástroje dle ISO 3685 [7]

Označení	Popis	Označení	Popis
VB	opotřebení na hřbetě	$VB_{B \max}$	opotřebení maximální
VB_C	opotřebení v oblasti špičky nástroje	KF	vzdálenost žlábků od čela
VB_N	opotřebení ve formě vrubu	KM	střední vzdálenost žlábků
VB_B	průměrné opotřebení přímé části ostří	KB	šířka žlábků

2.1.6. Časový průběh opotřebení

Každý nový nebo přeastřený nástroj nasazený do řezného procesu podléhá postupnému opotřebování.

Konstrukce průběhové mapy opotřebení ploch (viz Obr. 2.5) je velice náročný proces, a proto se opotřebení břitu nejčastěji uvádí ve tvaru závislosti $VB = f(t)$, resp. $KT = f(t)$, kde t je čas řezného procesu. [7]



Obr. 2.5 Graf časové závislosti na opotřebení hřbetu a čela [7]

Charakteristický průběh opotřebení lze definovat třemi oblastmi:

a) Oblast zrychleného záběhového opotřebení

Zrychlené opotřebení obecně souvisí se „záběhem“ nástroje a je způsobeno vysokým měrným tlakem na vrcholcích mikronerovností povrchu hřbetu a určitou defektností povrchové vrstvy, vyvolanou podmínkami ostření (mikrotrhliny), resp. V důsledku výrobních procesů při výrobě nástrojů (např. při slinování SK) [1]

b) *Oblast lineárního opotřebení s konstantní intenzitou*

V této oblasti dochází k lineárnímu nárůstu opotřebení, tzn. intenzita opotřebení je konstantní. [1]

c) *Oblast zrychleného nadměrného opotřebení*

Počáteční bod této oblasti je obvykle spojen s limitní teplotou řezání a s velmi výrazným poklesem tvrdosti řezného materiálu. Nastává zrychlené opotřebení – lavinové opotřebení. [1]

2.2. Řezná keramika

Tento nástrojový materiál je moderně definován jako převážně krystalický materiál, jehož hlavní složkou jsou anorganické sloučeniny nekovového charakteru. Tato definice zahrnuje nejen tradiční keramiku (porcelán, cement, cihly), ale i brousící materiály a řadu tzv. „nových“ (speciálních, konstrukčních, strojírenských, průmyslových, pokrokových příp. jinak nazvaných) keramických látek, jako je oxidová keramika (na bázi Al_2O_3 , ZrO_2 , BeO , UO_2), ferity, feroelektrika, nitridy (na bázi Si, B, Al), karbidy (na bázi Si, B), boridy (na bázi Ti) a další. Nová keramika je charakteristická tím, že je vyráběna z poměrně čistých surovin a často z čistých výchozích chemikálií, jako keramika syntetická. Většina látek zařazovaných pod pojem „nová keramika“ jsou látky krystalické, na rozdíl od tradiční keramiky (např. porcelán, glazury), která obsahuje i značný podíl skelné (amorfní) fáze. Keramické látky jsou vázány meziatomovými vazbami iontovými a kovalentními, jejich vazba není ale čistě iontová nebo čistě kovalentní, obvykle se vyskytují oba typy vazby současně. V krystalické struktuře, tvořící základ keramických materiálů, převažují složité mřížky kubické a hexagonální. [2]

Intenzivní výzkumnou a vývojovou činností byly v posledních letech výrazně zlepšeny některé vlastnosti keramických materiálů tak, že to umožnilo podstatně rozšířit jejich aplikace ve strojírenské výrobě. Výrazným způsobem k tomu přispěly i pokroky v oblasti obrábění keramik a to jak v surovém stavu, tak v konečné fázi výroby polotovarů a konkrétních součástí. [2]

2.2.1. Rozdělení řezné keramiky

Pro keramické řezné materiály neexistuje konkrétní norma, která má za cíl jejich podrobné rozdělení a značení jako je tomu například u slinutých karbidů. Proto se všeobecně přijalo následující rozdělení: [2]

a) Oxidová keramika

- Čistá (99,5% Al_2O_3)
- Polosměsná ($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2$, $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2+\text{CoO}$)
- Směsná keramika ($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiC}$, $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2+\text{TiC}$, $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiC}+\text{TiN}$)

b) Nitridová keramika

- (Si_3N_4 , $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{Y}_2\text{O}_3$, $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{TiN}$, sialony)

2.2.2. Výroba řezné keramiky

Způsob, kterým jsou vyráběna kompaktní keramické součásti, a tedy i vyměnitelné břitové destičky pro řezné nástroje, je velmi podobný procesu výroby součástí ze slinutých karbidů a cermetů. [8]

Obecný postup výroby řezné keramiky:

- Příprava práškové směsi
- Mletí
- Míchání
- Tvarování
- Sušení
- Předslinování
- Slinování
- Tepelné zpracování
- Úprava povrchu

2.2.3. Vlastnosti

Charakteristické vlastnosti (uvedené v závorkách) keramických materiálu je předurčují zejména pro použití v následujících oblastech technické praxe:

- a) **Mechanické aplikace** (odolnost proti opotřebení, vysoká tvrdost, velmi dobré a stabilní kluzné vlastnosti, nízká měrná hmotnost, vysoká přesnost tvaru, nepřítomnost statického náboje) [2]
- b) **Tepelné aplikace** (odolnost vůči vysokým teplotám, stabilita tvaru při tlakovém a tahovém namáhání, i za vysokých teplot, odolnost proti náhlým změnám teploty, nízká tepelná roztažnost, vysoká nebo nízká tepelná vodivost) [2]
- c) **Elektrotechnika, elektronika** (výborné izolační vlastnosti i za vysokých teplot, vysoká dielektrická pevnost, vysoká stabilita výboje, vysoký výkon zhášení výboje, definovaná dielektrická konstanta, dobré vysokofrekvenční vlastnosti, dobré mechanické vlastnosti) [2]
- d) **Fyzikální a chemické aplikace** (chemická odolnost vůči kyselinám a louhům, odolnost vůči korozi a erozi, akumulární a pohlcovací schopnost) [2]
- e) **Medicína** (biologická slučitelnost, chemická niternost a stabilita) [2]
- f) **Stavebnictví** (odolnost vůči mrazu a horku, příjemnost na dotyk, hygienické vlastnosti) [2]

Všechny tyto vlastnosti keramik lze však různě kombinovat a měnit tak, jak to vyžadují konkrétní aplikace daného materiálu. Mimo jiných oblastí se právě proto vybrané keramické materiály často užívají zejména pro výrobu řezných nástrojů, kde jsou využívány především tyto vlastnosti:

- **vysoká tvrdost**
- **odolnost proti mechanickému namáhání** (zejména tlakem)
- **odolnost proti působení vysokých teplot**
- **odolnost proti opotřebení, chemickým vlivům a korozi**
- **nízká měrná hmotnost a cena**

2.3. Teoretický rozbor experimentu

Tato část práce se podrobně zaměřuje na soustavu SNOP a její základní části.

2.3.1. Použitý stroj

Pro experiment byl použit školní univerzální hrotový soustruh MAŠSTROJ TROJAN CV11MV (viz Obr. 2.6), který se nachází v prostorách laboratoře VŠB – TU Ostrava. Parametry stroje jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 2.2 Parametry stroje

Popis	Hodnota
Oběžný průměr nad ložem	500 mm
Oběžný průměr nad suportem	290 mm
Maximální vzdálenost hrotu od koníka	1100 mm
Průměr sklíčidla	ø 250/315 mm
Výkon soustruhu	15 kW

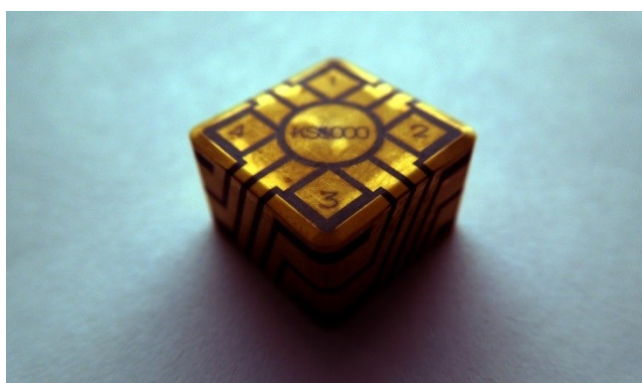


Obr. 2.6 Univerzální hrotový soustruh Mašstroj Trojan CV11MV

2.3.2. Použitý nástroj

a) Vyměnitelná břitová destička

Během experimentu byla sledována VBD (viz Obr. 2.7) vyráběna firmou KYOCERA s označením KS 6000. Destička se skládá z křemíko-nitridové keramiky a má na sobě nanesenou odporovou vrstvu, která nám dovoluje sledovat dosažení kritéria opotřebení bez toho, abychom byli nuceni destičku demontovat a podrobit ji důkladnému přeměrování.



Obr. 2.7 VBD KS6000

Z tabulky výrobce (viz Tab. 2.4) je patrné že VBD je zařazena do skupiny K, která je určena pro obrábění materiálů, kde vzniká krátká drobná tříška. Nejvhodnější je použití na obrábění křehkých materiálů, jako jsou litiny. Obrábění lze provádět s chlazením nebo bez. Nitridová keramika se vyznačuje dobrými vlastnostmi jako je vysoká houževnatost, pevnost v ohybu, odolnost proti cyklickému namáhání a další.

Tab. 2.3 Klasifikace VBD dle výrobce [3]

Ceramic A10		Cast Iron (Gray Cast Iron / Nodular Cast Iron)			
Workpiece Material					
Cutting Range		Finishing ← → Roughing			
ISO Classification		K01	K10	K20	K30
Turning	Ceramic	KA30			
		A65			
		A66N			
		PT600M			
		KS6000			

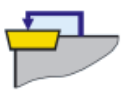


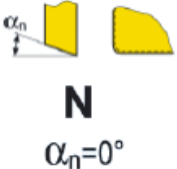
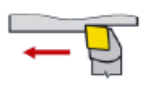





Tab. 2.4 Vlastnosti nitridové keramiky KS6000 [3]

Popis	Hodnota
Označení	KS6000
Hlavní složka	Si ₃ N ₄
Tvrdost základního materiálu [Gpa]	15,7
Lomová houževnatost [Mpa·m]	6,5
Doporučená řezná rychlost [m/min]	50-1499

b) Držák destičky

Během experimentu je tělesem nože veden elektrický signál, kterým pomocí odporové vrstvy nanesené na VBD sleduje opotřebení břitů nástroje. Pro tento účel je však potřebný speciální držák značky CERADEx s označením XCSRNR2525M-1207SEN. Podrobně toto označení obsahující základní parametry nože rozebere následující tabulka:

Tab. 2.5 Charakteristika držáku CERADEx XCSRNR2525M-1207SEN [6]

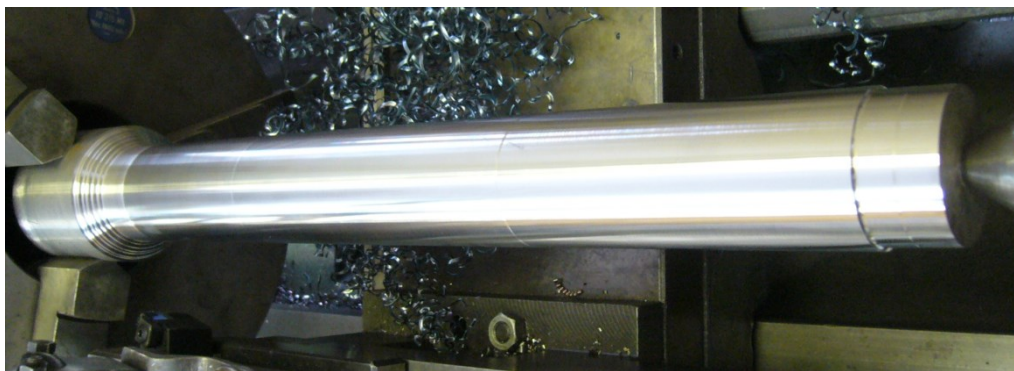
Druh držáku	Způsob upnutí	Tvar destičky	Tvar nože	Úhel hřbetu
X Speciál Speciál	C 	S 	R 	
Směr řezu	Výška řezu	Šířka držáku	Délka držáku	-
R 	 25	 25	 M 150	-
Velikost hrany	Tloušťka destičky	Tvar destičky	Úhel hřbetu	provedení
12	7	S 	E	N 

2.3.3. Materiál použitý při experimentu

Během experimentu byla použita ocel kruhového průřezu s označením 17 618 (viz Obr. 2.3). Oceli třídy 17 patří podle použití ke konstrukčním legovaným ocelím. Třetí číslice v základní číselné značce oceli řadí ocel do podskupiny manganových ocelí.

Tab. 2.6 Chemické složení oceli [4]

Prvek	C	Mn
Obsah prvku [%]	1,2	12



Obr. 2.8 Materiál použitý při experimentu

- kování 800 až 950°C
- rozpouštěcí žihání 1000 až 1050 °C
- pozvolné ohřívání na 850 °C
- dohřívání na 1000 až 1050 °C
- ochlazování ve vodě

2.3.4. Upnutí materiálu při experimentu

Polotovár určený pro experiment byl v soustruhu upnut pomocí tříčelistového sklíčidla. Vzhledem k délce polotovaru a zamezení házení obrobku při obrábění byl materiál na druhé straně podepřen hrotem koníku (viz Obr. 2.9).



Obr. 2.9 Způsob upnutí obrobku během experimentu

2.3.5. Dílenský mikroskop s osvětlením

Samotné měření opotřebení VBD mikrometrickou metodou bylo prováděno pomocí mikroskopu firmy INTRACO MICRO spol. s.r.o. (viz Obr. 2.10). Na mikroskop bylo napojeno osvětlení a digitální kamera, která zaznamenávala snímky do stolního počítače, kde pomocí softwaru Motic Images Plus 2.0 probíhalo samotné měření opotřebení VBD. Kalibrace měřidla byla provedena pomocí kalibračních měrek.



Obr. 2.10 Dílenský mikroskop s osvětlením [6]

2.3.6. Postup experimentu

Měření probíhalo v prostorách laboratoře Vysoké školy báňské v Ostravě dne 22. 1.2013 a 23.1.2013.

Ještě než jsme se pustili do samotného experimentu, bylo nutno vše dobře připravit a nastavit. Nejdříve byl zahájen menší úklid dílny, kde jsme zjistili, jaké máme možnosti při výběru materiálu pro náš experiment. Prvním krokem bylo tedy určit, jaký materiál bude obráběn. Byl zvolen polotovar kruhového průřezu z oceli 17 618.

Následovalo upnutí materiálu do sklíčidla soustruhu. Polotovar měl výchozí průměr obrobku $\varnothing 74,5$ mm a délku 460 mm. Pro tak dlouhý polotovar bylo nutné podepřít druhou stranu obrobku hrotem koníku.

Po řádném upnutí materiálu následovalo upnutí nástroje. Nůž bylo nutné upnout tak aby špička nástroje byl v ose obráběného materiálu. Po dosazení nože do nožového držáku se břit nacházel dost výrazně pod osou obrobku, takže bylo nutné pomocí kovových podložek nástroj nadzvednout do požadované výšky. Následovalo zapojení kabelu vycházejícího z tělesa soustružnického nože do čtecího zařízení napojeného na počítač.

Dalším krokem bylo připevnění do nožové hlavy kameru snímající teplotu v místě řezu a její následné zapojení do snímače.

Nedílnou součástí tohoto experimentu bylo pracoviště vybavené počítačem, který zaznamenával snímky pořízené mikroskopem. Ten se nacházel vedle počítače na pracovním stole. Mým úkolem bylo po každém řezu změřit pomocí mikroskopu velikost opotřebení na břitové destičce inteligentního nástroje.

Samotný experiment probíhal tak, že jsme za pomoci inteligentního nástroje vybaveným vyměnitelnou břitovou destičkou z keramiky, soustružili daný úsek polotovaru za určitých řezných podmínek, které se v průběhu experimentu měnily. Během samotného soustružení probíhalo měření teploty a odporu. Velikost opotřebení se měřila vždy po ukončení řezu a vložení VBD pod mikroskop.

3. Zpracování a vyhodnocení experimentu

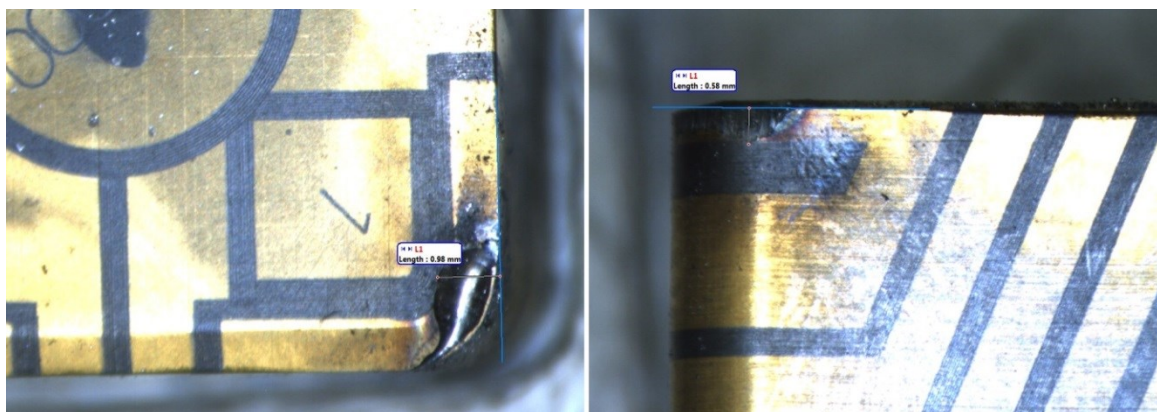
V této kapitole jsou uvedeny tabulky obsahující všechny naměřené a vypočítané hodnoty, grafy vykreslující průběhy opotřebení a obrázky postupu měření. Pro přehlednost jednotlivé podkapitoly odpovídají hodnotám jednotlivého břítu. V závěrečných třech podkapitolách jsou porovnávány výsledky jednotlivých břitů dohromady.

3.1. Břit č. 1

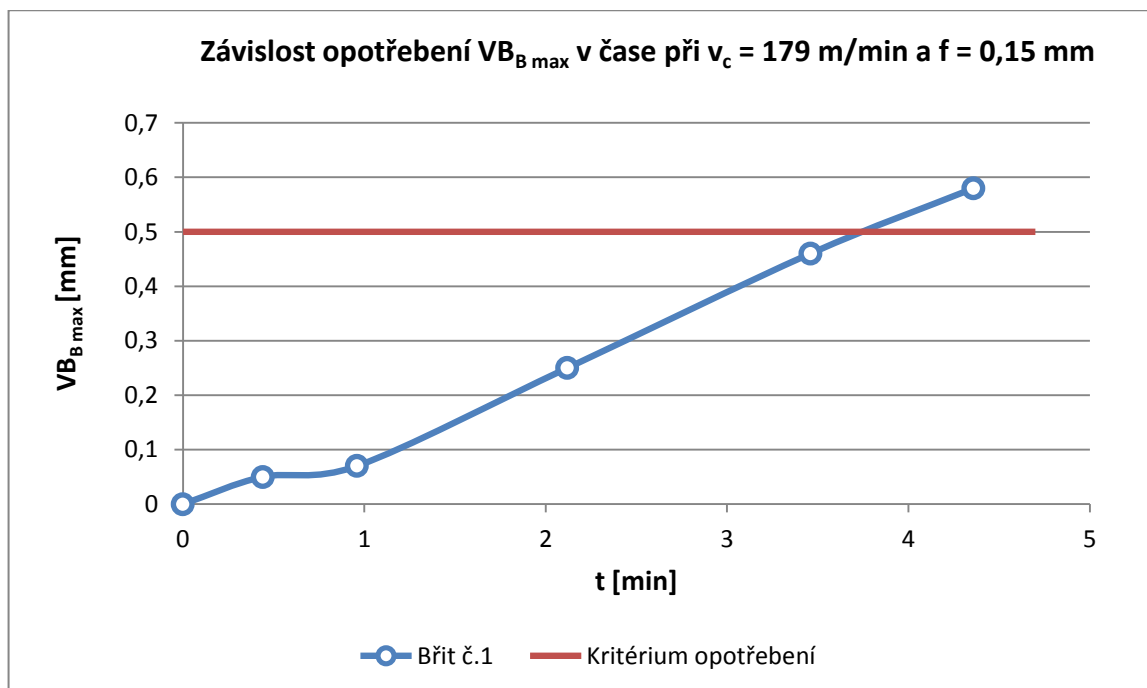
Během experimentu prvního břítu bylo provedeno celkem pět řezů a následných měření. Celková délka řezu byla $L = 524$ [mm], při které byla odebírána tříska o velikosti $a_p = 1,5$ [mm] konstantním posuvem $f = 0,15$ [mm] při $n = 800$ [1/min]. Kritéria opotřebení bylo dosaženo již po čtvrtém řezu na čele destičky a po následném pátém řezu byl nástroj opotřeбен i na hřbetě nástroje. Na čelní ploše se vytvořilo opotřebení ve tvaru žlábků a na ploše hřbetu bylo patrné rovnoměrné opotřebení destičky (viz Obr. 3.1). Celkový čas nástroje v řezu byl $t = 4,36$ [min].

Tab. 3.1 Naměřené a vypočítané hodnoty břítu č. 1

Břit č.1	VB[mm]	VB _{B max} [mm]	KB[mm]	L[mm]	t[min]	n[1/min]	v _c [m/min]	f[mm]	a _p [mm]	D[mm]
1. měření	0,03	0,05	0,46	52	0,44	800	179	0,15	1,5	71,3
2. měření	0,05	0,07	0,53	64	0,52	800	179	0,15	1,5	71,3
3. měření	0,19	0,25	0,71	134	1,16	800	179	0,15	1,5	71,3
4. měření	0,39	0,46	0,85	169	1,34	800	179	0,15	1,5	71,3
5. měření	0,46	0,58	0,98	105	0,9	800	172	0,15	1,5	68,3
Σ				524	4,36					

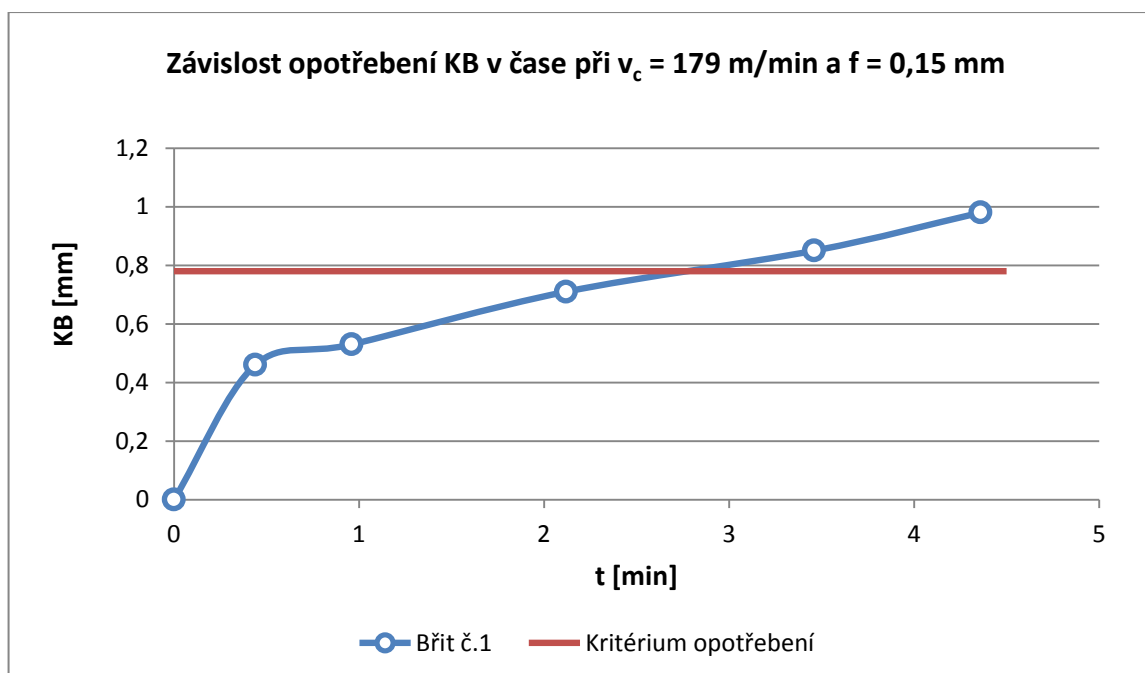


Obr. 3.1 Záběry čela a hřbetu břítu č. 1 po dosažení kritéria opotřebení



Obr. 3.2 Graf závislosti opotřebení $VB_{B\max}$ břitu č. 1 v čase

Samotné kritérium opotřebení se na čele a hřbetě nástroje od sebe liší. Tato hodnota je dána vzdáleností hrany nástroje od odporové vrstvy na čele a hřbetě VBD a tedy i šířkou samotné odporové vrstvy nástroje.



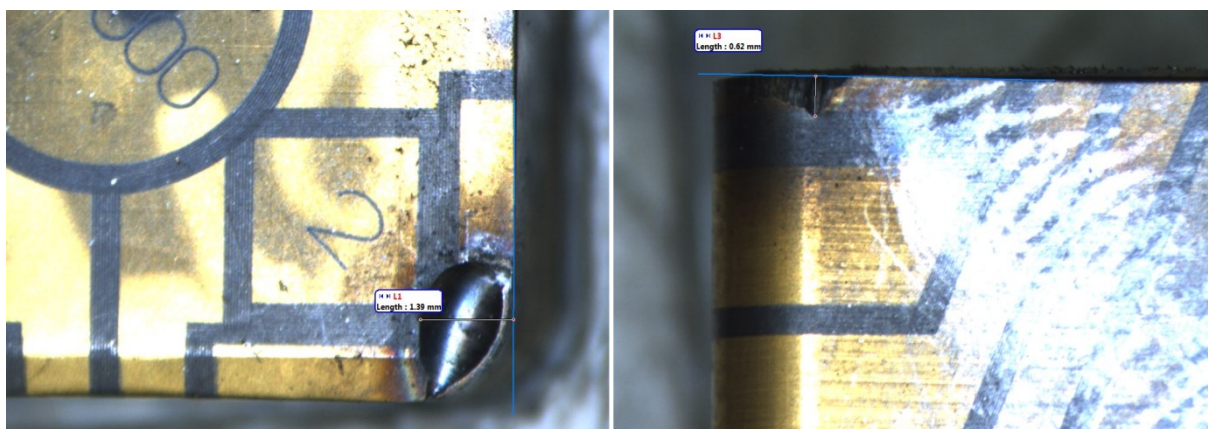
Obr. 3.3 Graf závislosti opotřebení KB břitu č. 1 v čase

3.2. Břit č. 2

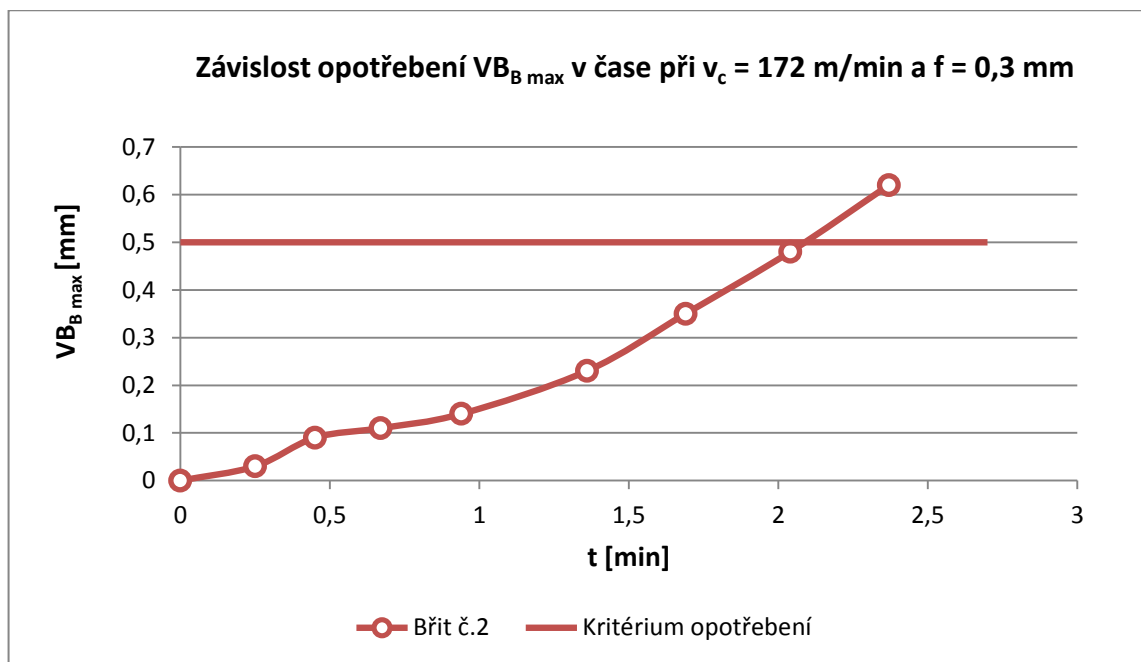
Druhý experiment byl rozdělen na osm řezů a následných měření, při které byla soustružena celková délka $L = 554$ [mm]. Hodnota hloubky řezu byla zachovaná, dvojnásobně se však změnil posuv oproti prvnímu experimentu a to na hodnotu $f = 0,3$ [mm] při stejných otáčkách. Zajímavostí bylo, že na čele nástroje došlo k opotřebení již po druhém řezu z celkových osmi. Na hřbetě nástroje však došlo k dosažení kritéria opotřebení až po řezu sedmém. Na čelní ploše se vytvořilo velmi výrazné opotřebení ve tvaru žlábků a na ploše hřbetu bylo patrné nerovnoměrné opotřebení destičky nástroje (viz Obr. 3.4). Celkový čas nástroje v řezu byl $t = 2,37$ [min].

Tab. 3.2 Naměřené a vypočítané hodnoty břitu č. 2

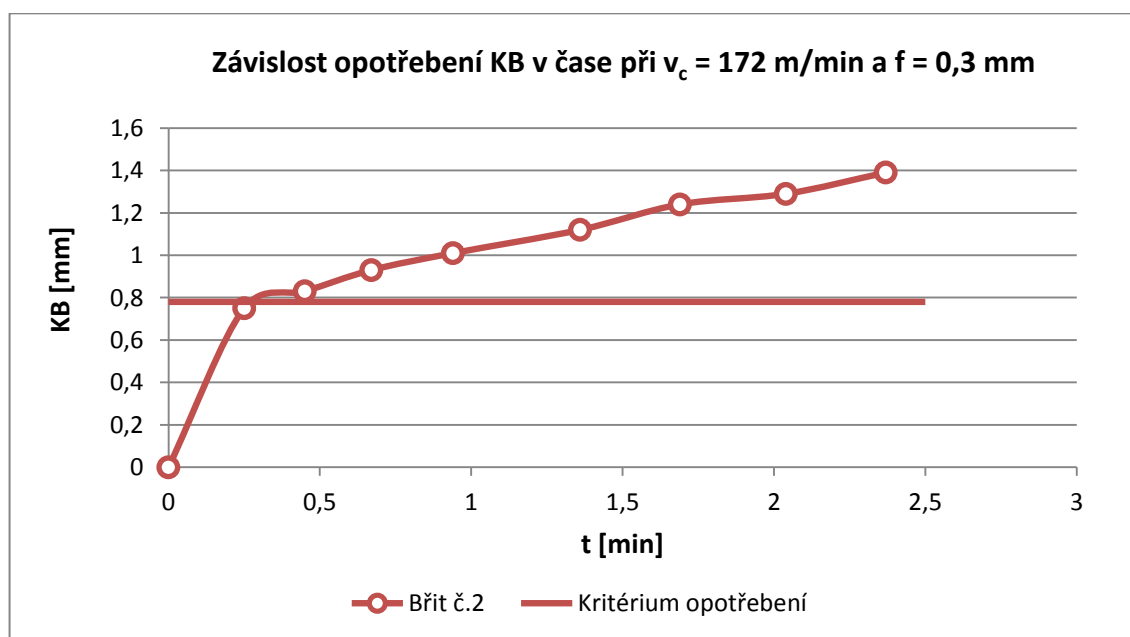
Břit č.2	VB[mm]	VB _{B max} [mm]	KB[mm]	L[mm]	t[min]	n[1/min]	v _c [m/min]	f[mm]	a _p [mm]	D[mm]
1. měření	0,02	0,03	0,75	53	0,25	800	172	0,3	1,5	68,3
2. měření	0,06	0,09	0,83	50	0,2	800	172	0,3	1,5	68,3
3. měření	0,09	0,11	0,93	52	0,22	800	172	0,3	1,5	68,3
4. měření	0,11	0,14	1,01	58	0,27	800	172	0,3	1,5	68,3
5. měření	0,19	0,23	1,12	102	0,42	800	172	0,3	1,5	68,3
6. měření	0,24	0,35	1,24	78	0,33	800	164	0,3	1,5	65,2
7. měření	0,31	0,48	1,29	82	0,35	800	164	0,3	1,5	65,2
8. měření	0,44	0,62	1,39	79	0,33	800	164	0,3	1,5	65,2
Σ				554	2,37					



Obr. 3.4 Záběry čela a hřbetu břitu č. 2 po dosažení kritéria opotřebení



Obr. 3.5 Graf závislosti opotřebení $VB_{B \max}$ břitu č. 2 v čase



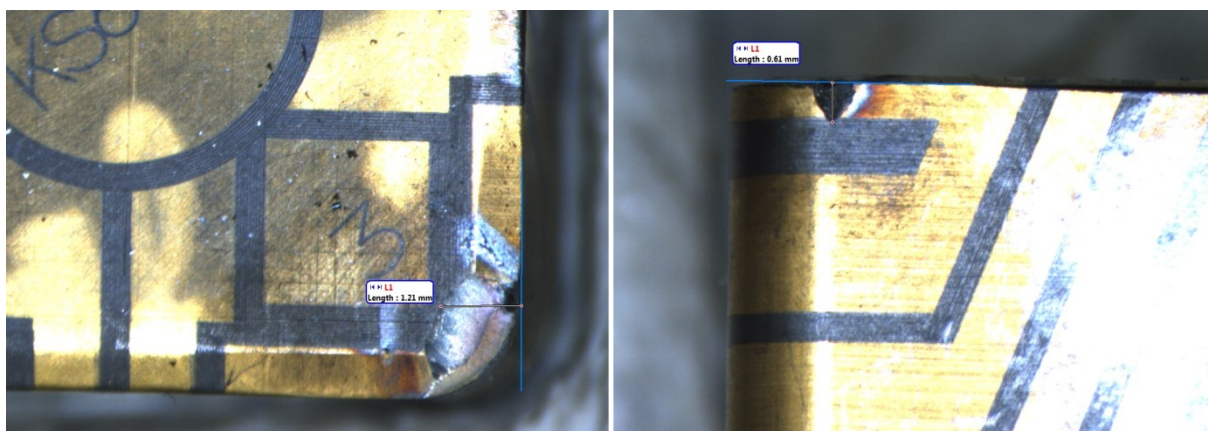
Obr. 3.6 Graf závislosti opotřebení KB břitu č. 2 v čase

3.3. Břit č. 3

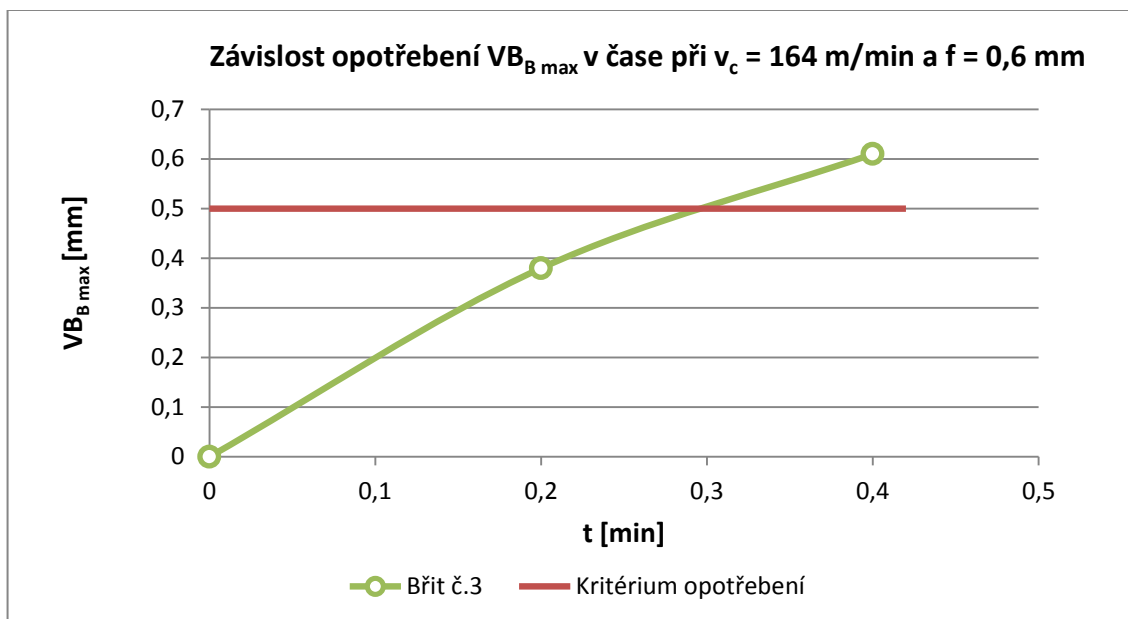
V tomto případě byl zvolen posuv nástroje na hodnotu $f = 0,6$ [mm] což se projevilo velmi rychlým opotřebením břitu a tedy i dosažením krátkého času soustružení a celkové délky řezu. Nástroj tedy vykonal pouze dva řezy v celkové délce $L = 168$ [mm] za čas $t = 0,4$ [min]. Na čele destičky bylo dosaženo kritéria opotřebení již po prvním řezu a na hřbetě po řezu druhém. Na čelní ploše se vytvořilo opotřebení ve tvaru žlábků a na ploše hřbetu vzniklo opotřebení ve tvaru vrubu (viz Obr. 3.7).

Tab. 3.3 Naměřené a vypočítané hodnoty břitu č. 3

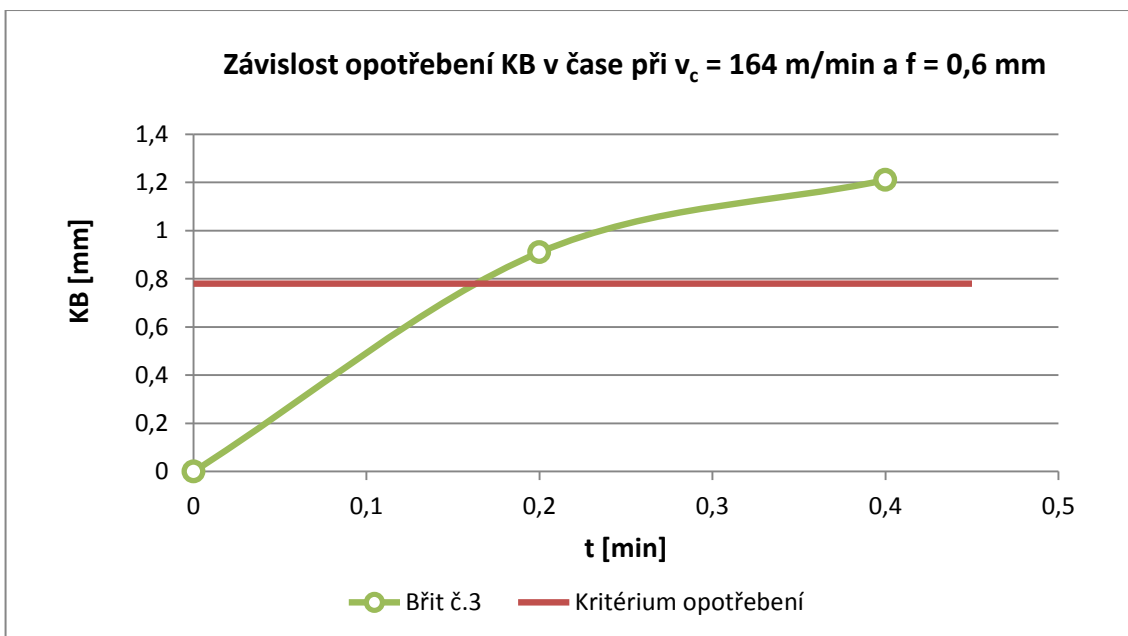
Břit č.3	VB[mm]	VB _{B max} [mm]	KB[mm]	L[mm]	t[min]	n[1/min]	v _c [m/min]	f[mm]	a _p [mm]	D[mm]
1. měření	0,25	0,38	0,91	82	0,2	800	164	0,6	1,5	65,2
2. měření	0,45	0,61	1,21	86	0,2	800	164	0,6	1,5	65,2
Σ				168	0,4					



Obr. 3.7 Záběry čela a hřbetu břitu č. 3 po dosažení kritéria opotřebení



Obr. 3.8 Graf závislosti opotřebení $VB_{B \max}$ břitu č. 3 v čase



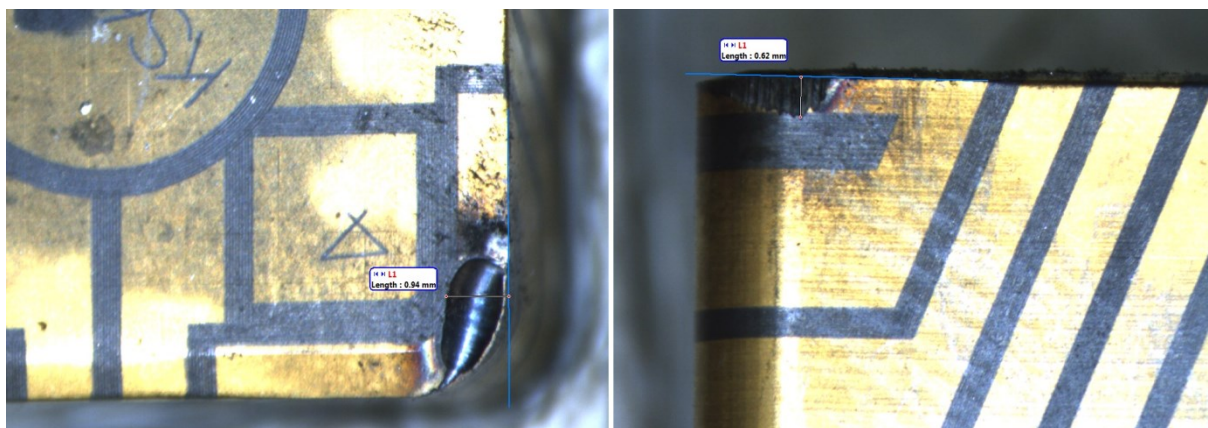
Obr. 3.9 Graf závislosti opotřebení KB břitu č. 3 v čase

3.4. Břit č. 4

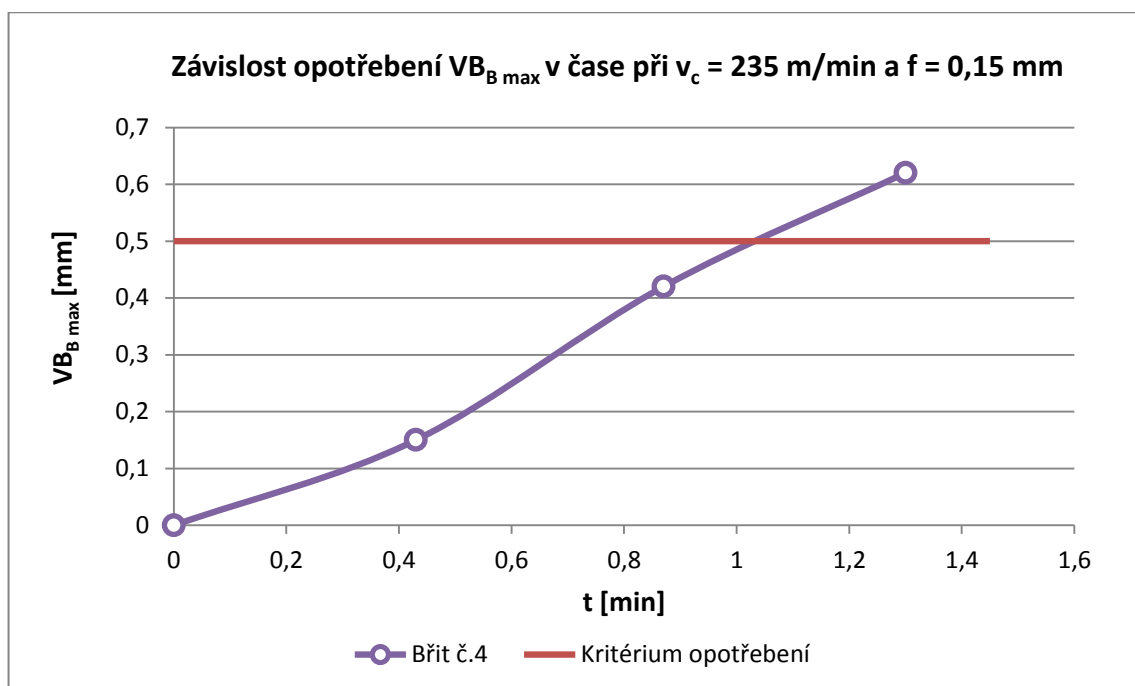
Experimentální měření na čtvrtém břitu VBD probíhalo při zvýšených otáčkách soustruhu na hodnotu $n = 1200$ [1/min] a sníženém posuvu nástroje $f = 0,15$ [mm] při konstantní řezné rychlosti $v = 235$ [m/min]. Do opotřebení vykonal nástroj tři řezy o celkové délce $L = 241$ [mm] za celkový čas $t = 1,3$ [min]. Na čele nástroje bylo dosaženo kritéria opotřebení již po druhém řezu a na hřbetě po řezu třetím. Na čelní ploše se opět vytvořilo opotřebení ve tvaru žlábků a na ploše hřbetu vzniklo rovnoměrné opotřebení destičky nástroje (viz Obr. 3.10).

Tab. 3.4 Naměřené a vypočítané hodnoty břitu č. 4

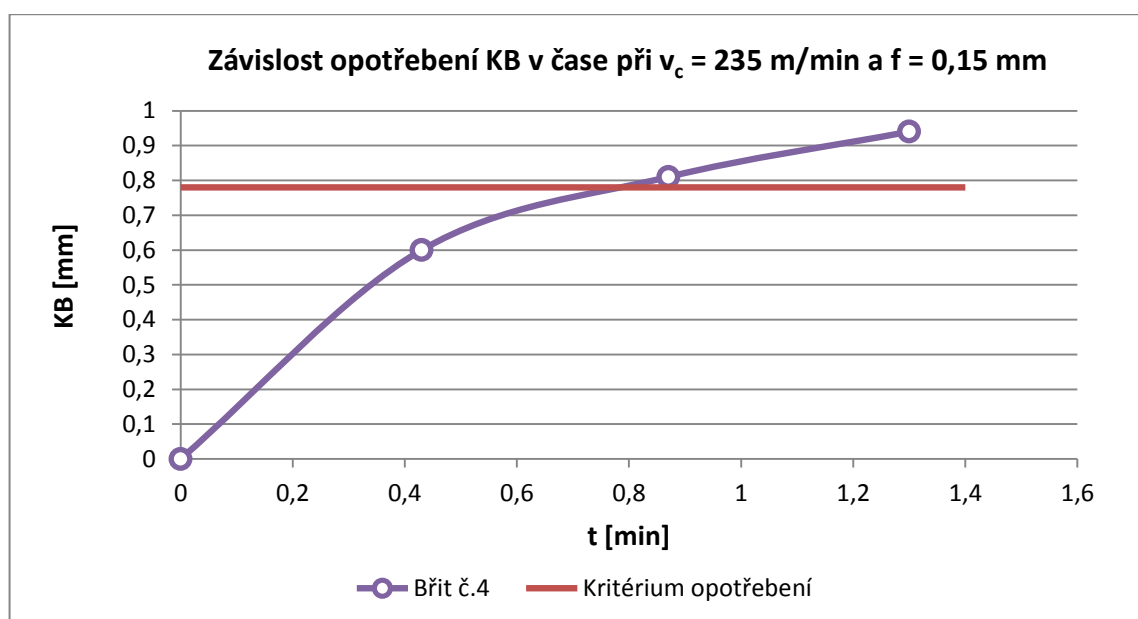
Břit č.4	VB[mm]	VB _{B max} [mm]	KB[mm]	L[mm]	t[min]	n[1/min]	v _c [m/min]	f[mm]	a _p [mm]	D[mm]
1. měření	0,12	0,15	0,6	79	0,43	1200	235	0,15	1,5	62,4
2. měření	0,35	0,42	0,81	82	0,44	1200	235	0,15	1,5	62,4
3. měření	0,51	0,62	0,94	80	0,43	1200	235	0,15	1,5	62,4
Σ				241	1,3					



Obr. 3.10 Záběry čela a hřbetu břitu č. 4 po dosažení kritéria opotřebení



Obr. 3.11 Graf závislosti opotřebení $VB_{B\ max}$ břitu č. 4 v čase



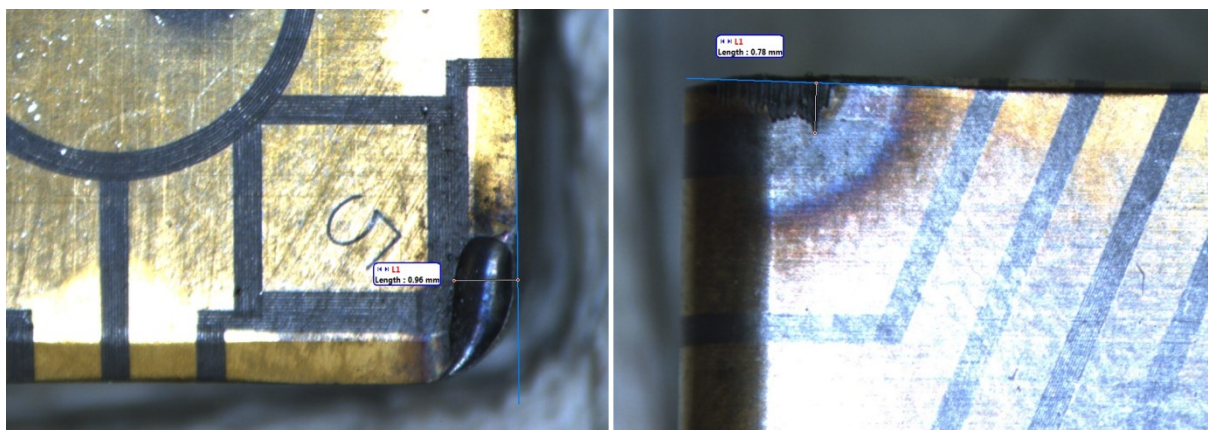
Obr. 3.12 Graf závislosti opotřebení KB břitu č. 4 v čase

3.5. Břit č. 5

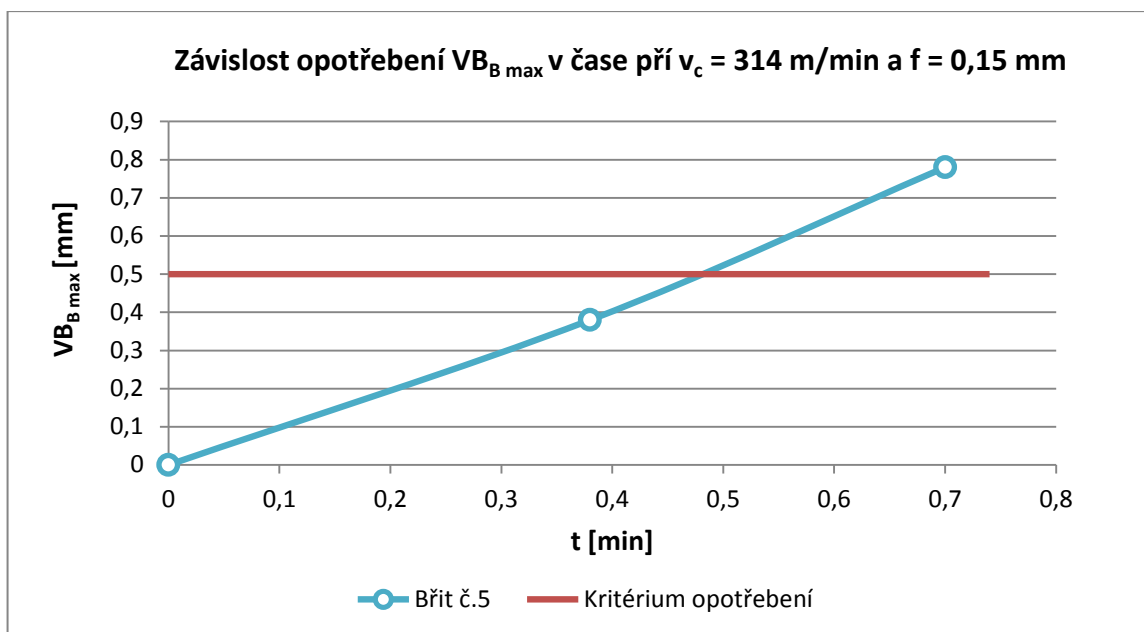
Pátou variantou experimentu bylo soustružení se zvýšenými otáčkami $n = 1600$ [1/min] při řezné rychlosti $v = 314$ [m/min] a posuvu $f = 0,15$ [mm]. Soustružení s těmito parametry se projevilo velmi rychlým opotřebením nástroje, během kterého byly vykonány pouze dva řezy o celkové délce $L = 156$ [mm]. Opotřebení břitu se na hřbetě nástroje projevilo rovnoměrným opotřebením, přičemž na čelní ploše vzniklo opotřebení ve tvaru žlábků (viz Obr. 3.13). V obou případech došlo k opotřebení nástroje ve druhém řezu. Celkový čas nástroje v řezu byl 0,7 minut.

Tab. 3.5 Naměřené a vypočítané hodnoty břitu č. 5

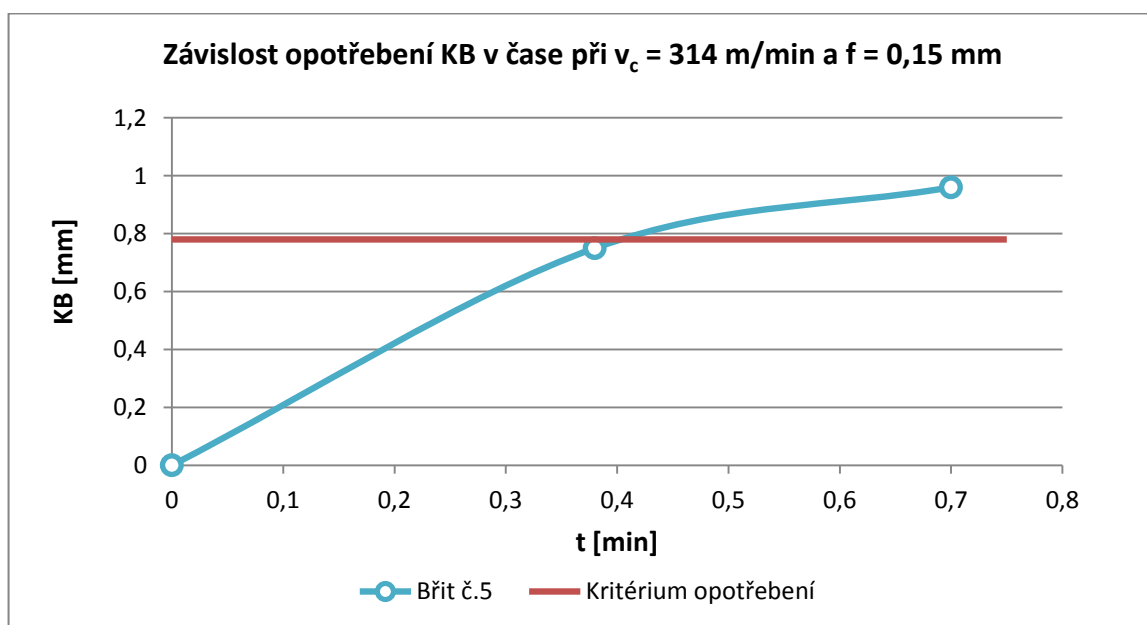
Břit č.5	VB[mm]	VB _{B max} [mm]	KB[mm]	L[mm]	t[min]	n[1/min]	v _c [m/min]	f[mm]	a _p [mm]	D[mm]
1. měření	0,29	0,38	0,75	81	0,38	1600	314	0,15	1,5	62,4
2. měření	0,56	0,78	0,96	75	0,32	1600	314	0,15	1,5	62,4
Σ				156	0,7					



Obr. 3.13 Záběry čela a hřbetu břitu č. 5 po dosažení kritéria opotřebení



Obr. 3.14 Graf závislosti opotřebení $VB_{B \max}$ břitu č. 5 v čase



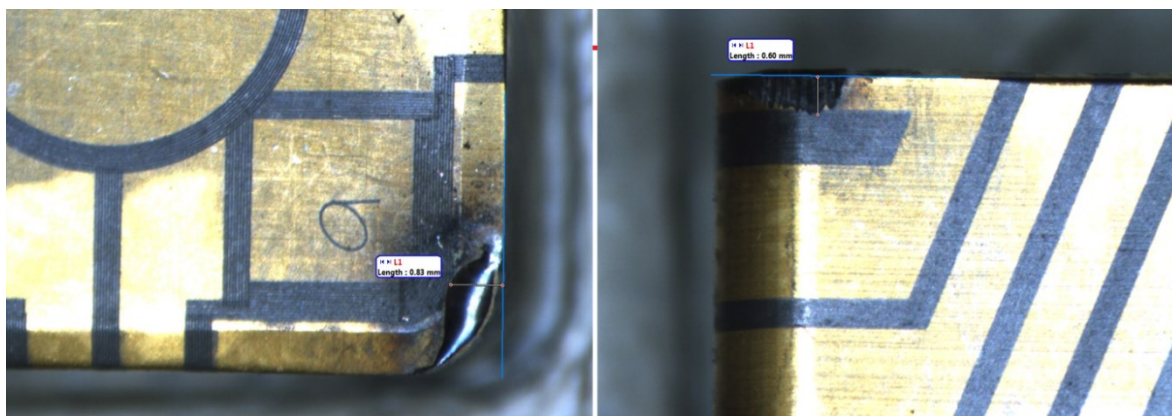
Obr. 3.15 Graf závislosti opotřebení KB břitu č. 5 v čase

3.6. Břit č. 6

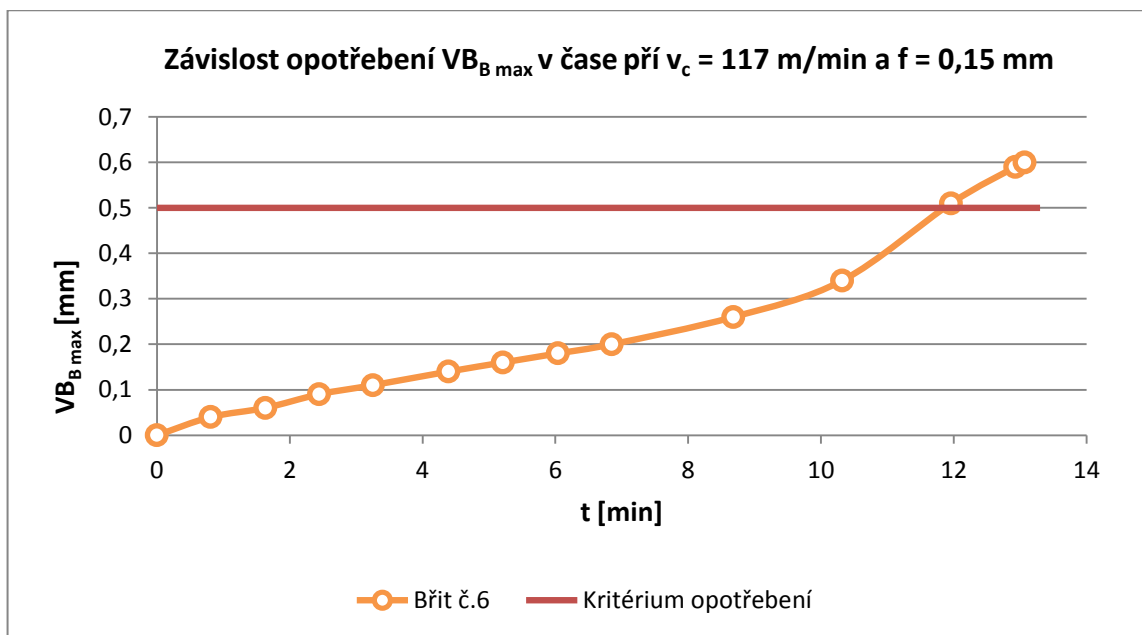
Poslední, šesté měření bylo svým rozsahem, množstvím řezu a následných měření největším a nejvýznamnějším experimentem. Celkem bylo vykonáno třináct řezů v délce $L = 1273$ [mm] za čas $t = 13,07$ [min]. Dosažení kritéria opotřebení bylo velmi pozvolné v porovnání z předchozími experimenty, a to z důvodu nízkých otáček, malé hodnoty posuvu a řezné rychlosti. Otáčky nástroje byly nastaveny na hodnotu $n = 630$ [1/min] při konstantním posuvu $f = 0,15$ [mm] a řezné rychlosti v rozsahu od 100 do 117 [m/min] v důsledku změny průměru polotovaru v průběhu soustružení. Na hřbetní ploše vzniklo rovnoměrné opotřebení, přičemž na čele nástroje vzniklo opotřebení ve tvaru žlábků (viz Obr. 3.16).

Tab. 3.6 Naměřené a vypočítané hodnoty břitu č. 6

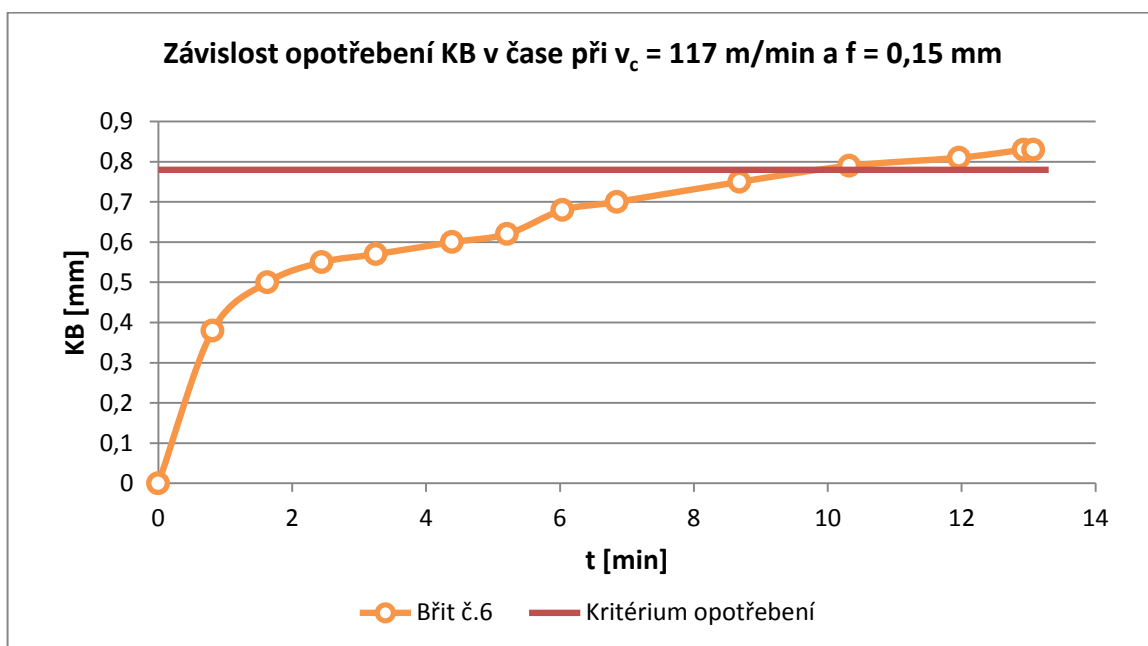
Břit č.6	VB[mm]	VB _{B max} [mm]	KB[mm]	L[mm]	t[min]	n[1/min]	v _c [m/min]	f[mm]	a _p [mm]	D[mm]
1. měření	0,02	0,04	0,38	78	0,81	630	117	0,15	1,5	59,3
2. měření	0,04	0,06	0,5	81	0,82	630	117	0,15	1,5	59,3
3. měření	0,06	0,09	0,55	80	0,81	630	117	0,15	1,5	59,3
4. měření	0,08	0,11	0,57	80	0,81	630	117	0,15	1,5	59,3
5. měření	0,1	0,14	0,6	113	1,14	630	117	0,15	1,5	59,3
6. měření	0,11	0,16	0,62	79	0,82	630	111	0,15	1,5	56,3
7. měření	0,13	0,18	0,68	80	0,83	630	111	0,15	1,5	56,3
8. měření	0,16	0,2	0,7	79	0,81	630	111	0,15	1,5	56,3
9. měření	0,2	0,26	0,75	179	1,83	630	111	0,15	1,5	56,3
10. měření	0,3	0,34	0,79	158	1,64	630	106	0,15	1,5	53,4
11. měření	0,45	0,51	0,81	159	1,64	630	106	0,15	1,5	53,4
12. měření	0,49	0,59	0,83	94	0,97	630	106	0,15	1,5	53,4
13. měření	0,5	0,6	0,83	13	0,14	630	100	0,15	1,5	50,6
Σ				1273	13,07					



Obr. 3.16 Záběry čela a hřbetu břitu č. 6 po dosažení kritéria opotřebení



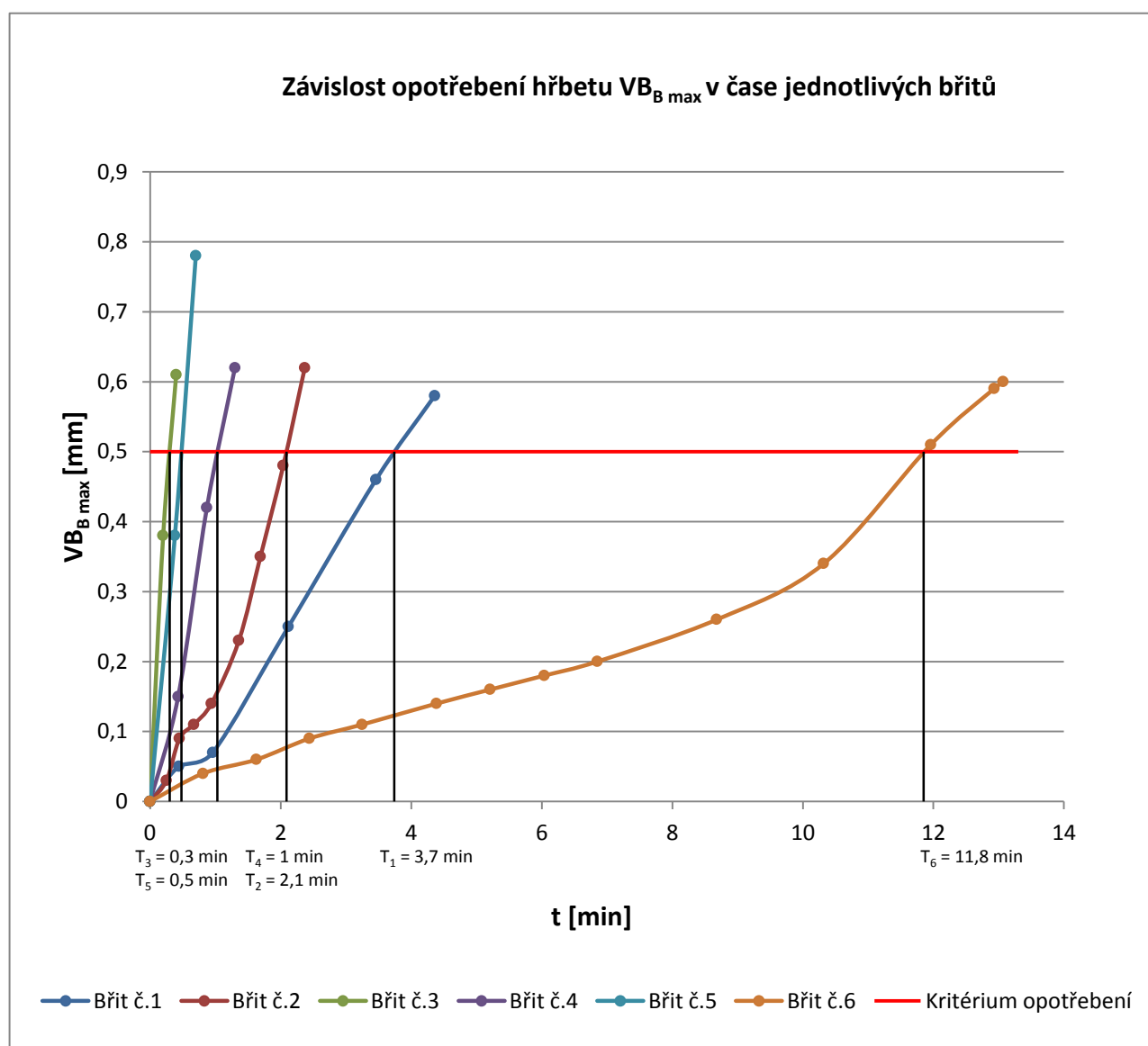
Obr. 3.17 Graf závislosti opotřebení $VB_{B\max}$ břitu č. 6 v čase



Obr. 3.18 Graf závislosti opotřebení KB břitu č. 6 v čase

3.7. Grafické porovnání velikosti opotřebení $VB_{B\max}$ všech břitů

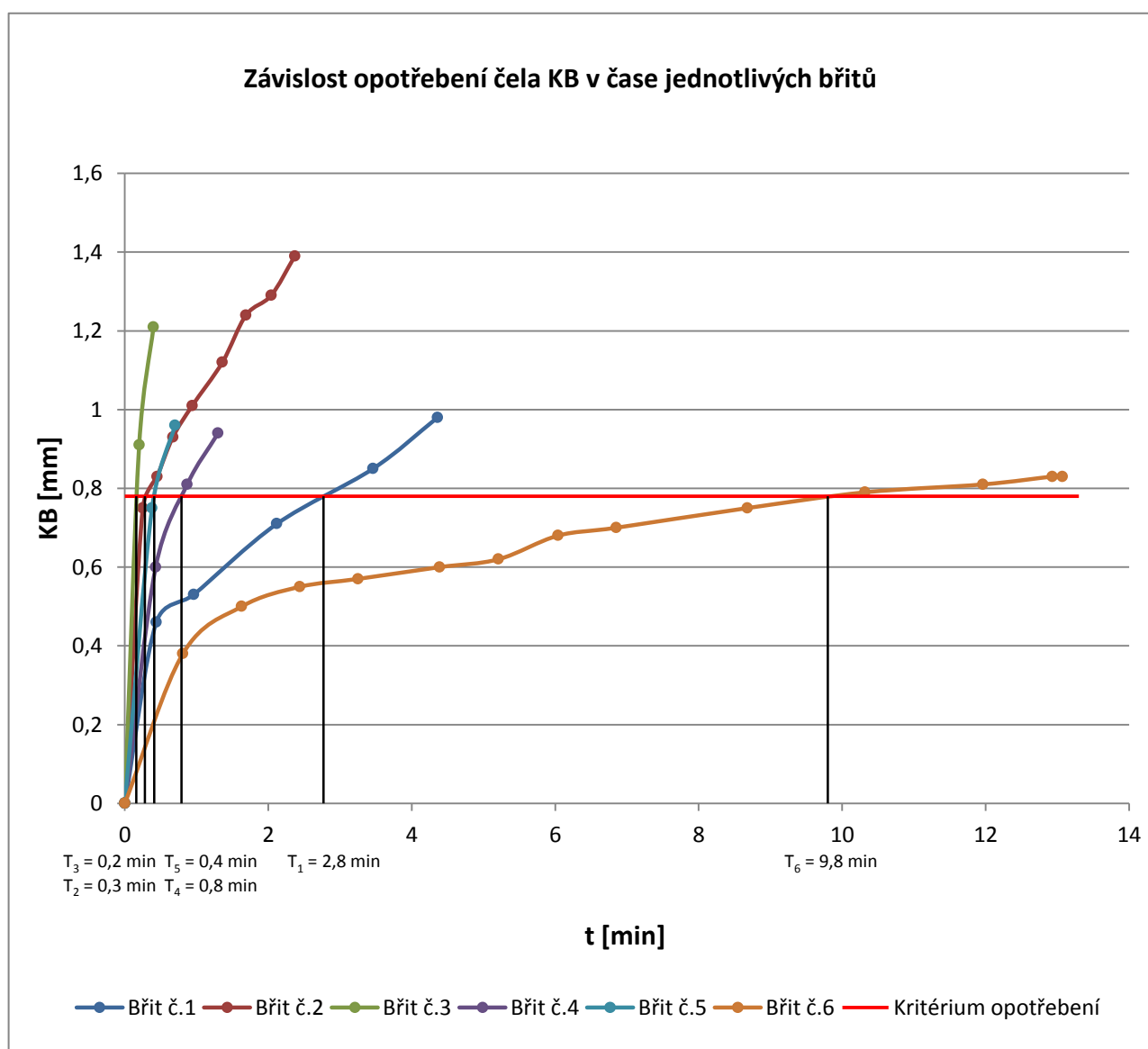
Při srovnání všech břitů na hřbetě nástroje (viz Obr. 3.19), došlo k nejrychlejšímu opotřebení na břitu číslo tři, který byl vystaven největšímu posuvu $f = 0,6$ [mm] při řezné rychlosti $v_c = 164$ [m/min] a otáčkách $n = 800$ [1/min]. Následovaly břity číslo pět, čtyři, dva a jedna. Naopak nejpříznivější podmínky pro trvanlivost nástroje byly nastaveny při měření břitu číslo šest, kde byl nástroj podroben posuvu $f = 0,15$ [mm], otáčkám $n = 630$ [1/min] a řezné rychlosti v pohybující se v intervalu od 117 do 100 [m/min].



Obr. 3.19 Graf závislosti opotřebení $VB_{B\max}$ všech břitů v čase

3.8. Grafické porovnání velikosti opotřebení KB všech břitů

Při srovnání všech břitů na čele nástroje (viz Obr. 3.20), došlo opět k nejrychlejšímu opotřebení na břitu číslo tři, který byl vystaven největšímu posuvu $f = 0,6$ [mm] při řezné rychlosti $v_c = 164$ [m/min] a otáčkách $n = 800$ [1/min]. Změnilo se však pořadí opotřebení následujících čelních ploch nástroje a to v pořadí břitů dva, pět, čtyři a jedna. Nejpriznivější podmínky pro dlouhou trvanlivost nástroje byly opět nastaveny při měření břitu číslo šest, kde byl nástroj podroben posuvu $f = 0,15$ [mm], otáčkám $n = 630$ [1/min] a řezné rychlosti v pohybující se v intervalu od 117 do 100 [m/min].



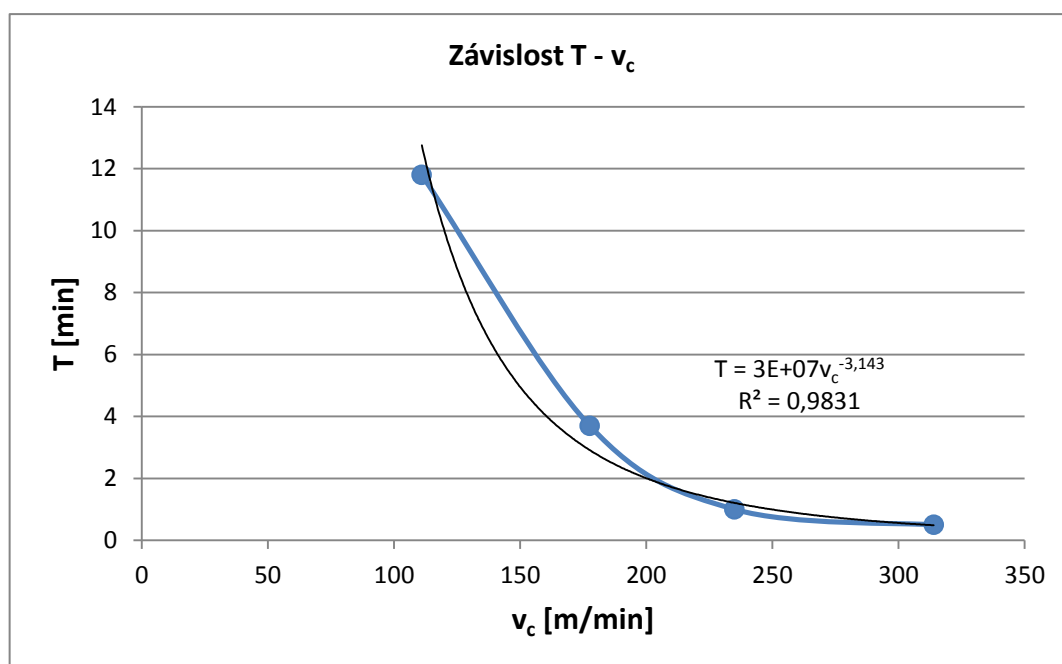
Obr. 3.20 Graf závislosti opotřebení KB všech břitů v čase

3.9. Závislosti $T - v_c$

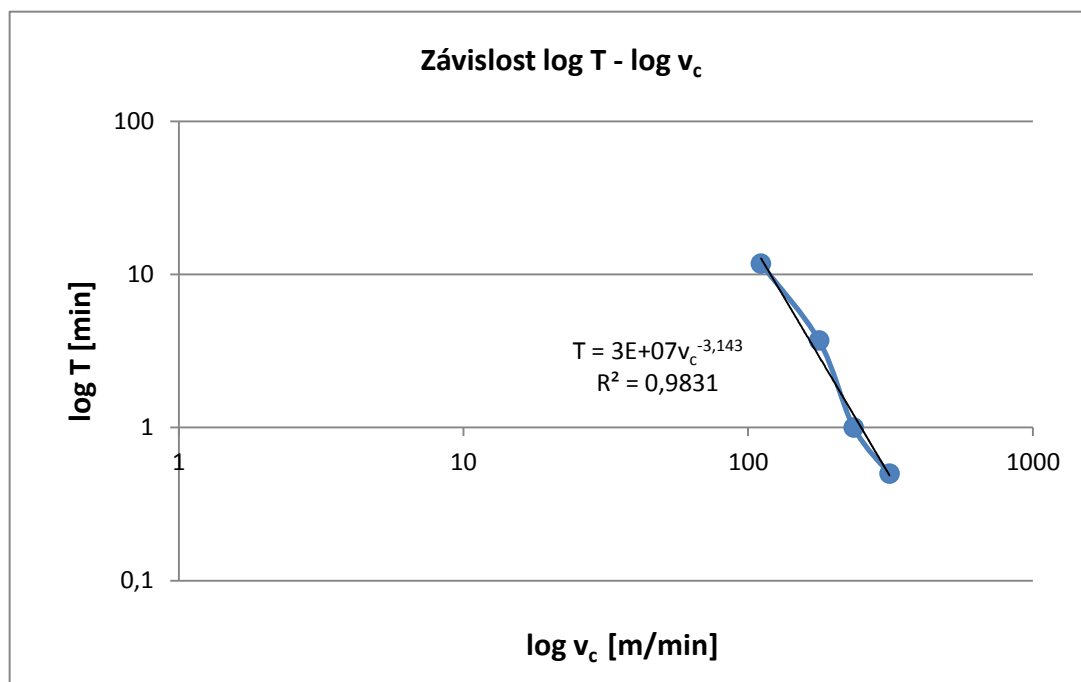
Měnicí se hodnota posuvu při měření jednotlivých břitů během experimentu nám nedovoluje pro vytvoření závislosti $T - v_c$ a $\log T - \log v_c$ použít všechny data získané během měření, jelikož zde není splněna podmínka konstantního posuvu f u všech měření. Konstantní hodnota posuvu f byla splněna pouze u břitu číslo jedna, čtyři, pět a šest. Právě proto, pro vytvoření následujících grafu byly použity jen data těchto břitů.

Tab. 3.7 Hodnoty použité při sestavení $T - v_c$ a $\log T - \log v_c$ závislosti.

	T [min]	v_c [m/min]
Břit č.5	0,5	314
Břit č.4	1	235
Břit č.1	3,7	177,6
Břit č.6	11,8	111



Obr. 3.21 Graf $T - v_c$ závislosti



Obr. 3.22 Graf $T - v_c$ závislosti v logaritmických souřadnicích

Výsledná rovnice trvanlivosti (1) vznikla po vytvoření $T - v_c$ závislosti v programu Microsoft Excel.

$$T = 3E + 07 \cdot v_c^{-3,143} \quad (1)$$

4. Závěr

Tato bakalářská práce se zabývala sledováním opotřebení inteligentních řezných nástrojů.

Byl proveden teoretický rozbor celé problematiky, tedy uvedení možných forem a mechanismů opotřebení nástroje, podrobný rozbor řezné keramiky a jednotlivých částí soustavy SNOP použitých během experimentálního měření. Experiment probíhal na univerzálním hrotovém soustruhu, v prostorách laboratoře VŠB – TU Ostrava, kde probíhalo i samotné měření VBD mikroskopickou metodou za použití dílenského mikroskopu s osvětlením. Kritérium opotřebení bylo dáno velikostí odporové vrstvy destičky nástroje. Materiálem řezného nástroje byla keramika na bázi nitridu křemíku. Polotovar použitý pro experimentální obrábění byla manganová ocel 17 618, která musela být vzhledem k délce obrobku podepřena hrotem koníku.

Z výsledků vzešlých z experimentálního měření bylo zjištěno, že v tomto případě největší vliv na rychlost a způsob opotřebení má posuv nástroje f a nikoliv řezná rychlost v_c . Tento fakt je však dán z největší pravděpodobností tím, že rozsah řezné rychlosti byl v tomto případě velmi malý v porovnání s rozsahem posuvové rychlosti během experimentu, což bylo dáno omezeným rozsahem otáček soustruhu. Na čele nástroje docházelo ve všech případech k opotřebení ve tvaru žlábků, přičemž opotřebení na hřbetě nástroje se v jednotlivých případech lišilo. Jestli tento výsledek byl dán měnicími se řeznými podmínkami, by bylo možné zjistit až po větším množství měření a experimentů. Nežádoucím vlivem na výsledky měření mohly být vibrace během obrábění dané nedostatečnou tuhostí stroje.

Další částí experimentu bylo měření teploty a odporu v místě řezu a měření vibrací stroje během soustružení. Měření teploty, odporu a vibrací zpracovávali studenti Martin Bilík, Václav Král a Vojtěch Schreier jako svou samostatnou bakalářskou práci.

5. Seznam použité literatury

- [1] KOCMAN, K a J PROKOP. *Technologie obrábění*. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství: 2. vyd. Brno: CERM, 2005, 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
- [2] HUMÁR, Anton. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění*. 1. vyd. Brno: CCB, 1995, 265 s. ISBN 80-858-2510-4.
- [3] Electronic catalog [online]. Vancouver: Kyocera industrial corp., 2011. Dostupné z WWW:
<http://www.epaperflip.com/aglaia/viewer.aspx?docid=822a4f43fe71472e97025f8dc a7e98f9>
- [4] Tumlikovo: Metal Cutting Technologies. In: [online]. 2010 [cit. 2013-03-02]. Dostupné z WWW: <http://www.tumlikovo.cz/rubriky/materialy/konstrukci-oceli/oceli-tridy-17/>
- [5] HUMÁR, A. *Technologie i technologie obrábění*: 1. část. Brno: VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003. 138 s. Studijní opory pro magisterskou formu studia "Strojírenská technologie".
- [6] KRZYŽANEK, K. *Sledování opotřebení inteligentních nástrojů*. Ostrava, 2011. Bakalářská práce. Vysoká škola Báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže. Vedoucí práce: Kratochvíl, J.
- [7] Příručka obrábění [online]. Šumperk: Pramet Tools, s.r.o., 2004. [cit. 2013-03-23] Dostupné z WWW: http://ns.pramet.com/download/katalog/pdf/prirucka_cz.pdf, 100s.
- [8] BRYCHTA, J. *Technologie II*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007-2008, 2 sv. ISBN 978-80-248-1822-12.
- [9] ČEP, R a J PETRŮ. *Experimentální metody v obrábění*. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2011, 1 CD-ROM. ISBN 978-80-248-2533-5.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat především mému vedoucímu práce panu Ing. Jiřímu Kratochvílovi, Ph.D. za odborné rady a vedení během samotného měření a následného zpracování této práce. Bez jeho nasazení a znalosti by tento experiment nemohl být zrealizován. Dále chci poděkovat svým spolužákům Martinu Bilíkovi, Vojtovi Schreierovi a Václavu Královi, kteří zpracovali další oblasti tohoto experimentu. Zároveň bych chtěl poděkovat VŠB-TU Ostrava za poskytnutí laboratoře, strojů a zařízení, které byly k vykonání tohoto experimentu potřeba.

V Ostravě dne: 10.5 2013

Adam Pomykacz